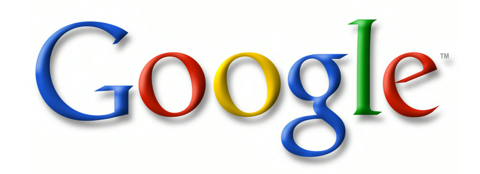
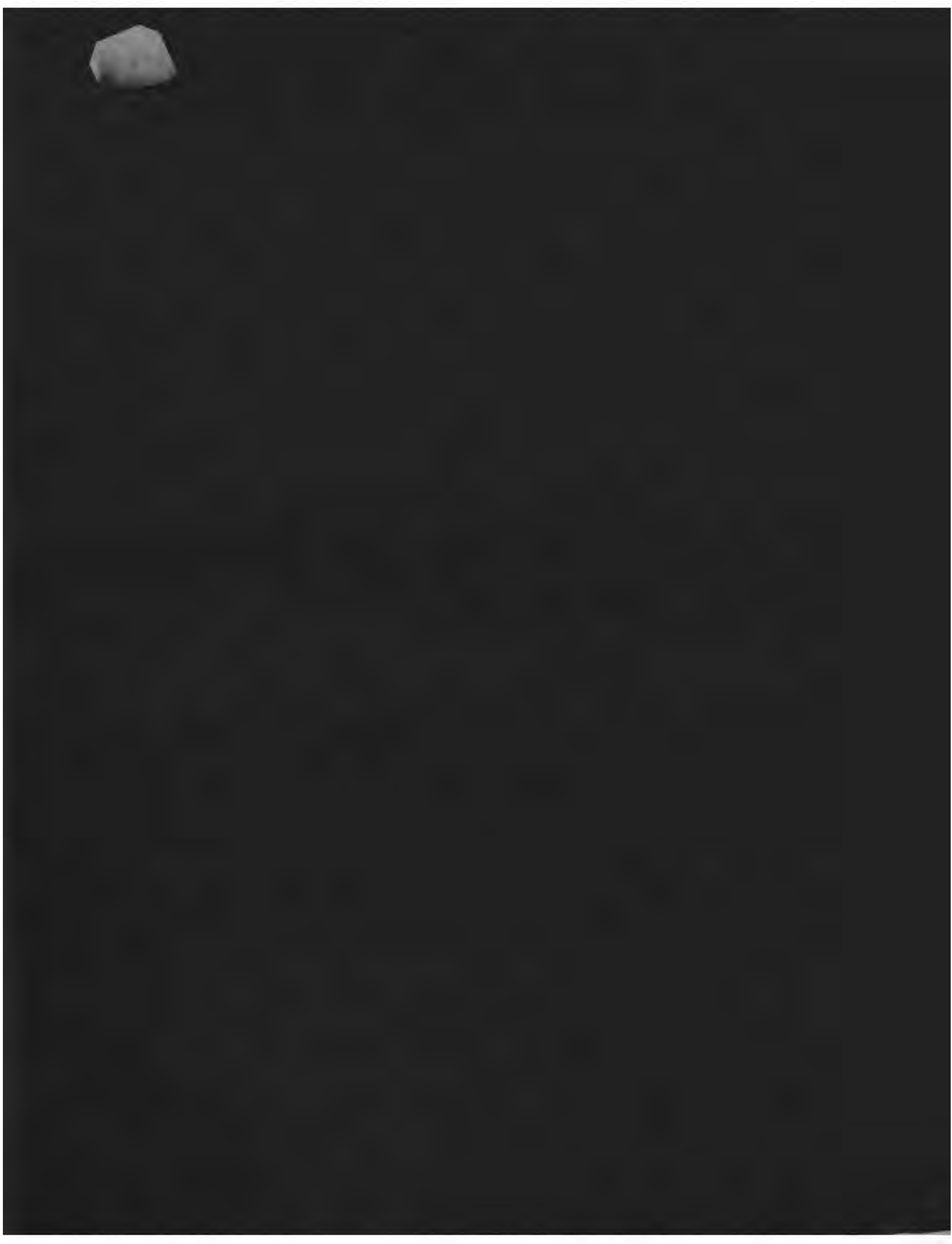


DIE TECHNIK IM ZWANZIGSTEN JAHRHUNDERT



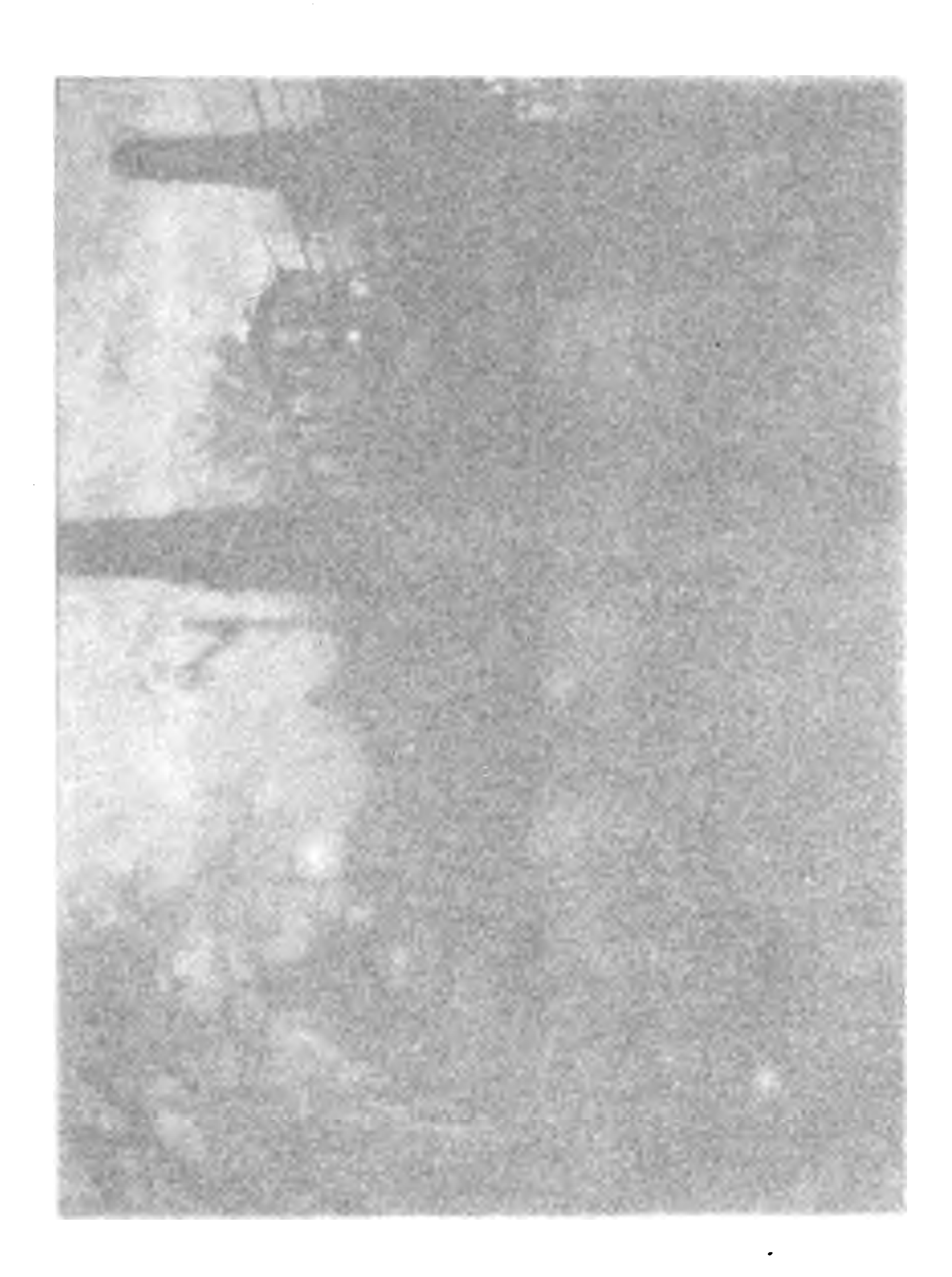


Tafel III.

Hochbahnstation „Nollendorfplatz", Berlin.

Zu Matschoß: Grundriß der technisch-geschichtlichen Entwicklung.





DIE TECHNIK IM ZWANZIGSTEN JAHRHUNDERT

UNTER MITWIRKUNG HERVORRAGENDER VERTRETER DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN HERAUSGEGEBEN VON

GEH. REG.-RAT DR. A. MIETHE
PROFESSOR AN DER KÖNIGL. TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZU BERLIN

ERSTER BAND:

DIE GEWINNUNG DER ROHMATERIALIEN

BRAUNSCHWEIG 1911. VERLAG VON GEORGE WESTERMANN

Druck von George Westermann in Braunschweig.

VORWORT

Der Versuch, in dem beschränkten Rahmen eines Sammelwerkes den augenblicklichen Stand der Technik darzustellen, ist wiederholt gemacht worden. Die Schwierigkeit eines solchen Unternehmens liegt einerseits darin, daß der Stoff, der der Bearbeitung harrt, ein überwältigend umfangreicher ist und daß es heutigentags kaum noch Menschen gibt, welche auch nur auf größeren Teilgebieten dieses gewaltigen Wissenszweiges genügend unterrichtet sind. In der Technik ist die Spezialisierung der einzelnen Wissensgebiete vielleicht weiter vorgeschritten als auf irgendeinem anderen Felde menschlicher wissenschaftlicher Betätigung. Andererseits besteht die Schwierigkeit darin, daß ein großer Umfang des zur Verfügung stehenden Raumes immer historischen Betrachtungen vorbehalten bleibt und daß daher derartige Werke vielfach den augenblicklichen Stand der Technik in einem den Leser nicht befriedigenden Grade berücksichtigen, sondern diesen augenblicklichen Stand durch die historischen Betrachtungen wesentlich kürzen und nicht zu seinem Rechte kommen lassen. Es ist ja auch viel leichter, das historisch Gewordene in seinem Werdegang zu schildern, als die derzeitigen großen Gesichtspunkte, welche die Technik beherrschen, darzulegen.

Wird daher auf der einen Seite von vornherein darauf verzichtet werden müssen, den Stoff eines solchen Werkes aus der Feder eines oder einiger weniger Autoren zu beschaffen, so macht andererseits die Auswahl der zahlreichen Autoren, die sich zur Abfassung eines solchen Werkes zusammentun müssen, insofern Schwierigkeit, als an sie ganz besonders hohe Anforderungen zu stellen sind. Der Techniker ist gerade in seinen besten Vertretern vielfach nicht ein Mann der Feder. Sein überaus reizvoller, vielgestaltiger Beruf läßt ihm selten die Muße, rechts und links zu blicken oder gar sein Wissen und Können in allgemeinverständlicher Form niederzuschreiben. Wenn man daher für ein derartiges Werk passende Mitarbeiter suchen will, so ergibt sich von vornherein die fast unbedingte Notwendigkeit, diese aus den Reihen der Lehrer an technischen Hochschulen zu gewinnen.

Es ist bekannt, wie die Entwicklung der Technik von den technischen Hochschulen speziell in Deutschland abhängig war, und wie das Ausland die technischen Bildungsanstalten unseres Vaterlandes als die Hauptträger der technischen Kultur zu betrachten gewohnt ist. Und nicht mit Unrecht; denn was wir heute Technik nennen, unterscheidet sich von der Technik der früheren Zeiten in erster Linie dadurch, daß

die immer weitere Fortschritte machende Durchdringung der Technik mit streng wissenschaftlichen Prinzipien im Laufe der letzten fünfzig Jahre zur Tat geworden ist.

Wenn wir in diesem Sammelwerke versucht haben, von den eben geschilderten Gesichtspunkten ausgehend die Mitarbeiterschaft an unserem Werke wesentlich in die Hände solcher Ingenieure zu legen, welche im Lehrberuf tätig sind, so ist damit eine weitere Schwierigkeit entstanden, die auf den ersten Blick unüberwindlich erscheint, bei näherer Betrachtung aber weniger als solche, vielmehr als ein Vorzug gelten muß. Es ist von vornherein undenkbar, daß eine stattliche Anzahl von Autoren, von denen jeder als Spezialvertreter seiner Wissenschaft anzusprechen ist, sich einem bestimmten, vom Herausgeber im voraus bearbeiteten Plane streng fügt. Aber es hat einen besonderen Reiz, die ersten Autoritäten auf ihren eigenen Gebieten von ihrer eigenen Wissenschaft und ihrer eigensten Tätigkeit sprechen zu hören. Und dieser Reiz wird nicht dadurch geschmälert, daß die Auffassung der einzelnen Autoren eine naturgemäß verschiedene ist. Wir sehen den Hauptwert unseres vorliegenden Werkes darin, daß es uns gelungen ist, für alle Teile die bedeutendsten Vertreter der Spezialgebiete als Mitarbeiter zu gewinnen und diese ihre eigene und charakteristische Auffassung der Aufgaben der Technik uneingeschränkt entwickeln zu lassen.

Maßgebend für die Auswahl der breiter behandelten Stoffteile sind Gesichtspunkte gewesen, die sich etwa dadurch charakterisieren lassen, daß der Kulturwert der einzelnen technischen Aufgaben mehr in den Vordergrund der Wertschätzung gestellt wurde, als die Augenfälligkeit derselben, und daß diejenigen Teile der Technik, welche nur indirekt oder gar nicht — wie beispielsweise die Kriegswissenschaften — Kulturwerte schaffen, mehr oder minder vollständig beiseitegelassen wurden. Daher bietet unser Werk weniger absolute Erschöpfung oder auch nur besondere Vielseitigkeit, als vielmehr eine Würdigung der technischen Wissenschaft und der Technik selbst im Rahmen der Kulturentwicklung der Neuzeit. Die großen treibenden Kräfte, die sich nicht immer rein von ökonomischen Betrachtungen aus würdigen lassen und der Wert der technischen Errungenschaften im Hinblick auf den allgemeinen Fortschritt der Menschheit sind die Gesichtspunkte, die im Vordergrunde stehen und die bei den einzelnen Abschnitten herauszuheben besonders das Bemühen des Herausgebers gewesen ist.

Charlottenburg, im August 1911 Der Herausgeber: Miethe

INHALTSVERZEICHNIS

Die technisch wichtigen Metalle und die Gewinnung ihrer Erze.

Von Oberbergrat Professor Dr.-Ing. h. c. Richard Beck (Freiberg i. S.) und Professor Diplom-Ingenieur R. Hoffmann (Clausthal) . . . . Seite 212—334

Holz, Holzschliff, Zellstoff, Faserstoffe. Von Direktor Professor Otto Johannsen (Reutlingen) . . . Seite 335—397

EINSCHALTBILDER

GESCHICHTLICHE EINLEITUNG

GRUNDRISZ DER TECHNISCH-GESCHICHTLICHEN ENTWICKLUNG

VON CONRAD MATSCHOSZ

Die Technik ist die stetige Begleiterin der menschlichen Kultur, deren Entwicklungsgang durch sie maßgebend beeinflußt wird. In dem unablässigen Ringen des Menschen mit der Natur, bei dem jeder Sieg auch ein Fortschritt in den äußeren Daseinsbedingungen bedeutet, hat die Technik die wichtigsten Waffen geschmiedet. Lange vor den Zeiten, deren Geschichte wir auf Grund geschichtlicher Überlieferungen zu schreiben vermögen, wissen wir von der Technik der vorgeschichtlichen Menschen, daß sie es ihnen ermöglicht hat, aus Steinen Werkzeuge und Waffen zu fertigen, durch die sie ihre Arbeiten zu erleichtern und ihr Leben gegen ihre Feinde zu schützen vermochten. Als es dann gelungen war, das Feuer in den Dienst des Menschen zu zwingen, war ein Kulturfortschritt erreicht, der den Anfang für die wichtigsten Zweige der Technik bedeutet. Jetzt wurde es möglich, die Metalle, vor allem das Eisen, aus den Erzen zu gewinnen. Mit dem Eisen aber trat einer der wichtigsten Rohstoffe in die Menschheitsgeschichte ein, der gerade unserer Zeit mehr als irgendein anderer das eigenartige Gepräge gegeben hat. So folgt in der vorgeschichtlichen Zeit der Steinzeit die Bronze- und Eisenzeit, wobei auf die viel umstrittene Frage der zeitlichen Reihenfolge von Bronze und Eisen hier nur hingewiesen werden soll. Jedenfalls läßt das Eisen sich bei niedrigerer Temperatur und deshalb wesentlich leichter darstellen als Bronze. Wie man diese Frage unter Berücksichtigung aller bisher bekannten Tatsachen auch beantworten mag, hier genügt es, festzuhalten, daß jedenfalls Kupfer sowohl als Eisen den ältesten Kulturvölkern bei ihrem Eintritt in die Geschichte bereits bekannt waren. Somit waren die technischen Errungenschaften und Erfahrungen schon auf eine bemerkenswerte Höhe gelangt zu jener Zeit, mit der die Geschichtsdarstellung zu beginnen pflegt.

Versuchen wir, in ganz großen Zügen uns ein Bild von dem Entwicklungsgang der Technik in den etwa fünf Jahrtausenden der Menschheitsgeschichte zu machen, so werden wir, um die Übersicht zu erleichtern, die Darstellung in verschiedene Abschnitte zu teilen haben. Diese Aufgabe wird je nach dem Gesichtspunkt, den man wählt, sehr verschiedene Lösungen zulassen. Zunächst wird es zweckmäßig sein, bei der Kürze, die hier geboten ist, den Begriff des Altertums, an den wir uns gewöhnt haben, beizubehalten, wobei wir aber das Altertum in der Geschichte der Technik noch über den Untergang des Römischen Reiches hinaus, bis etwa zum 12. oder 13. Jahrhundert, erweitern können, denn erst da werden im deutschen Kulturkreise innerhalb des Berg- und Hüttenwesens die Grundlagen für eine erfolgreiche Weiterentwicklung der Technik, wie wir später zu zeigen haben werden, gelegt. Die besonders durch die Einführung der Wasserkraft als Betriebsmaschine der Gebläse verbesserten technischen Einrichtungen des Eisenhüttenwesens ermöglichten es, Eisen in

größeren Mengen und in gleichmäßigerer, besserer Qualität herzustellen. Das 14. Jahrhundert bringt uns ferner die Nutzbarmachung des Pulvers und in Verbindung mit der verhältnismäßig schon weit entwickelten Metall- und Eisentechnik das Geschütz. Die Wirkungen aber dieses technischen Ereignisses machen sich besonders in der Kriegsgeschichte so bemerkbar, daß man von diesen Fortschritten der Waffentechnik an wohl berechtigt ist, eine neue Zeit in der allgemeinen Völkergeschichte zu rechnen.

Einen nicht minder bedeutsamen Einfluß auf die allgemeine kulturgeschichtliche Entwicklung mußte ein anderes technisches Ereignis, die Erfindung der Buchdruckerkunst, die uns um die Mitte des 15. Jahrhunderts beschert wurde, ausüben. So bildet das 14. und 15. Jahrhundert mit diesen richtunggebenden technischen Taten die tiefe Scheide zwischen alter und neuer Technik.

Mit den Fortschritten im Eisenhüttenwesen, mit der Nutzbarmachung der Explosionskraft der Pulvergase und mit der Erfindung der Buchdruckerkunst beginnt die Zeit, die wir als technisches Mittelalter bezeichnen können, und die wir dann bis zum 18. Jahrhundert rechnen, dessen Anfang die erste Feuermaschine, dessen Ende die von Watt zu hoher Vollkommenheit ausgebildete Dampfmaschine sah.

Mit der Nutzbarmachung der in der Kohle schlummernden Sonnenenergie vergangener Jahrmillionen durch die Dampfmaschine beginnt die neue Zeit, gekennzeichnet durch die von Jahrzehnt zu Jahrzehnt sich mehrende Schar von eisernen Arbeitssklaven, die, aus dem schaffenden Geist des Menschen geboren, unermüdlich und in stets vollkommenerer Weise den Willen ihres Schöpfers zu vollbringen sucht.

Die neueste Zeit, die mit dem letzten Jahrzehnt des vorigen Jahrhunderts beginnt, bescherte uns sodann in der elektrischen Kraftübertragung die Möglichkeit, uns mit dem Ort der Kraftverwendung von dem Herstellungsort der Krafterzeugung unabhängig zu machen. Wir stehen noch mitten in dieser beispiellos schnellen Entwicklung und vermögen nur zu ahnen, welch gewaltige Bedeutung die erst hierdurch ermöglichte weitgehende Ausnutzung der Wasserkräfte — der weißen Kohle — für jene unfehlbar hereinbrechende Zeit zu bedeuten haben wird, in denen die seltener werdende schwarze Kohle den Menschen dazu zwingen wird, seinen Kraftbedarf auf andere Weise zu decken.

Lassen wir nunmehr in ganz großen Umrissen, um bei dem verfügbaren Raum etwas mehr Platz für die Darstellung der unserer Zeit näherliegenden Entwicklungsperiode zu gewinnen, das Bild der technischen Geschichte des von uns als technisches Altertum und technisches Mittelalter gekennzeichneten Zeitraumes vorüberziehen. Wir haben darauf hingedeutet und werden es noch weiter auszuführen haben, welch bestimmenden Einfluß die Krafterzeugung und -verwendung auf die gesamte Technik in der neueren Zeit hat. Auch das Altertum hatte naturgemäß, um die großen Werke, die wir noch heute bewundern, schaffen zu können, große Kraftquellen nötig. Die Kraftmaschinen des Altertums waren Menschen und Tiere. Die eigenen Muskelkräfte genügten den Menschen lange Zeit. Darin ist es auch begründet, daß die seinen Muskelkräften angepaßte Arbeitsmaschine der durch außer ihm liegenden Kräfte wirksamen Kraftmaschine der Zeit nach weit voranging. Von den Tieren ist am meisten das Pferd zur Arbeitsleistung herangezogen worden. Es war die normale Betriebsmaschine für die verschiedensten gewerblichen Zwecke. Noch heute rechnen wir die Arbeitsleistung unserer Kraftmaschinen nach Pferdestärken. Nächst dem Pferde sind der Ochse, seltener Esel oder kleinere Tiere, wie Hunde und Ziegen, benutzt worden. Die Leistungsfähigkeit der Krafteinheiten aber im Verhältnis zu den Arbeitsgrößen, mit denen wir heute zu rechnen gewohnt sind, war außerordentlich gering. Höchstens

etwa eine Maschinenpferdestärke war im achtstündigen Betrieb durch eine Arbeitseinheit zu erreichen. Die Leistungsfähigkeit ließ sich nur steigern durch Hinzufügung weiterer Arbeitseinheiten. Die gewaltigen Sklavenheere des Altertums, die schließlich so groß wurden, daß die Herren zuweilen die Macht über sie verloren, zeigen, in welchem Umfang man hiervon Gebrauch gemacht hat.

In dieser Konzentrierung der Arbeitsleistung vieler auf einen und denselben Zweck lag aber ein gewaltiger Kulturfortschritt. Insofern kann Treitschke die „Einführung der Sklaverei eine rettende Tat der Kultur" nennen. Durch sie ist der Mensch in allerdings unglaublich harter Schule zu dauernder Arbeitsleistung erzogen worden. Diese organisierten, dem Willen einzelner Machthaber dienenden Menschenmassen haben jene großen Bauten erst ermöglicht, die wir in ihren Überresten noch heute bewundern. Der Ingenieur jener Zeiten war hierbei in erster Linie auch Befehlshaber, Organisator von Menschenmassen.

Neben jener Entwicklung, die zu den gewaltigsten Bauwerken führte, begannen die einzelnen Gewerbe zu entstehen und sich in ihren Werkzeugen und sonstigen Hilfsmitteln stetig zu vervollkommnen. Leider sind wir über die einzelnen Abschnitte und über die Erfindungen innerhalb dieses so ungemein wichtigen Entwicklungsganges nur sehr mangelhaft unterrichtet. Über den Taten einzelner Machthaber, von denen die Geschichtschreiber nicht genug zu erzählen wußten, vergaß man, den die ganze Entwicklung so überaus bestimmenden Anteil der arbeitenden Volksmassen zu erwähnen.

Neben den Werkzeugen entstanden auch frühzeitig schon Vorrichtungen, die wir mit dem Namen Maschine belegen können. Der zwischen beiden Händen quirlartig gedrehte Bohrer ist als erste Maschine bezeichnet worden. Die dabei auftretenden Wärmeerscheinungen beim Holzbohren haben, so wird angenommen, zur Erfindung des Feueranzündens geführt. In diesem Falle würde die erste Maschine unmittelbar auch eine der weittragendsten Erfindungen aller Zeiten veranlaßt haben. In langsamer Aufeinanderfolge sind dann die ersten rohen Anfänge anderer Maschinen entstanden, von denen die Töpferscheibe und vor allem die Spindel von besonders großer Bedeutung gewesen sind. Zu diesen Anfängen der Arbeitsmaschine kommen dann auch die mannigfachen Maschinen des Transportgewerbes. Aus der einfachen Walze entwickelte sich das Rad, der Baumstamm wurde ausgehöhlt zum Boot, das, durch Ruder von Menschen betrieben, den Verkehr vermittelte. Auf Grund der verbesserten Werkzeuge und Maschinen entstanden, sich stützend auf die sich steigernden Bedürfnisse, immer neue Industrien. Der Bergbau hatte die verschiedenartigsten Rohstoffe zu liefern und gewann große Ausdehnung, allerdings nur durch rücksichtslose Ausbeutung der menschlichen Arbeitskraft.

Ohne hier eine Aufzählung oder gar Beschreibung der gesamten im Altertum bekannten maschinellen Einrichtungen geben zu können, sei noch versucht, auf einige der wichtigsten Arbeitsgebiete der alten Ingenieure kurz hinzuweisen.

Der Ackerbau bildete den wirtschaftlichen Mittelpunkt der alten Kulturreiche. Deshalb finden wir hier großartige Anlagen für die Be- und Entwässerung des Landes. Die großen Kanalsysteme, die das Land bedeckten, ermöglichten es, das Wasser der Flüsse auf die Länder zu verteilen. Hierauf beruhte die Fruchtbarkeit des Bodens und damit die Reichtumsquelle der Staaten. Bemerkenswert ist, daß hierzu schon in sehr weit zurückliegenden Zeiten in Babylonien, Ägypten und auch im alten China Maschinen in Form von Becherwerken und Wasserschöpfräder zum Verteilen des Wassers benutzt wurden. Noch heute arbeiten am Nil zahllose solcher Maschinen,

die in ihrer Konstruktion und Wirkungsweise sich kaum von jenen unterscheiden mögen, die vor vier Jahrtausenden das Land der Pharaonen bewässerten.

Auch die Aufgabe, für menschliche Siedlungen ausreichende Mengen von gutem Trinkwasser zu schaffen, hat den alten Ingenieuren zu großartigen Werken Veranlassung gegeben. Besonders die Herleitung des Wassers aus größeren Entfernungen bot Gelegenheit zu großen Bauwerken. Ausschließlich wurde zu diesen Leitungen das Gefälle des Wassers benutzt. Maschinen wurden zu diesem Zweck nicht gebraucht, wenn auch eine künstliche Wasserhebung den Alten nicht ganz fremd war. Die Leitungen, die zur Fortleitung des Wassers notwendig waren, wurden als offene Rinnen und auch als geschlossene Kanäle und Rohrleitungen hergestellt. Ausgedehnte Tunnels wurden zu diesem Zweck bereits hergestellt, die, wenn wir die einfachen Mittel der alten Technik berücksichtigen, besonders bewundert zu werden verdienen. Das Wasser ließ man entweder unmittelbar durch den Tunnel fließen, oder man verlegte auch besondere Rohrleitungen in den unterirdischen Gängen. Die Rohre wurden aus Stein, Ton und Blei hergestellt. Am bekanntesten auf dem Gebiet der Wasserversorgungsanlagen sind die so sehr ausgedehnten römischen Aquädukte, deren imposantes Äußere nicht immer ihrer technischen Durchbildung entspricht. Jedenfalls sind die Griechen, die in viel größerem Umfange als die Römer Rohrleitungen, von denen manche bis zu 16 Atm. Druck aushielten, verwendet haben, technisch auf diesem Gebiet den Römern überlegen.

So sehr auf dem Gebiet der Wasserversorgung die antiken Städte rühmend zu nennen sind, so wenig können sie bestehen, wenn wir die Beleuchtung und die Verkehrsverhältnisse innerhalb der Städte in Betracht ziehen. Ebenso ließ die antike Straßenpflasterung, mit unserer heutigen verglichen, sehr viel zu wünschen übrig, und auch die Forderungen der Gesundheitspflege, besonders wenn wir das Kanalisationswesen in Betracht ziehen, sind im Altertum oft gar nicht oder nur in sehr bescheidenem Umfang erfüllt worden, denn auch die frühzeitige Erbauung der so sehr bewunderten Cloaca maxima bot in hygienischer Beziehung zu manchen Bedenken Veranlassung. Auch die so sehr gerühmten Wasserversorgungsanlagen haben zur Reinlichkeit der Städte bei weitem nicht soviel beigetragen, wie uneingeschränkte Bewunderung des Altertums ihnen heute zuweisen möchte.

Eins der wichtigsten Gebiete, auf denen die Ingenieure aller Zeiten sich in dem Dienste der gesamten Kulturentwicklung zu betätigen hatten, ist das des Verkehrs. Die Bedeutung des Land- und Wasserverkehrs für den Austausch der Waren, des Handels und damit für den Verkehr der Völker untereinander, ferner für die Kriegsführung und damit für die Staatenentwicklung, kann kaum überschätzt werden. Auf dem Gebiet des Schiffbaues haben die alten Kulturvölker sehr bedeutende Leistungen aufzuweisen. Zum Antrieb der Schiffe wurde in weitgehender Weise die menschliche Muskelkraft herangezogen. Um hier die Arbeitsleistung zu erhöhen, ging man dazu über, in besonderen Fällen mehrere Ruderreihen übereinander zu benutzen, was technisch allerdings zu erheblichen Unzuträglichkeiten geführt haben muß, so daß man es nur bei ganz besonderen Verhältnissen für möglich halten kann, daß höchstens drei Ruderreihen übereinander benutzt werden konnten. Von größter Bedeutung mußte es sein, als man dazu überging, hier den Wind als Naturkraft zur Bewegung der Schiffe heranzuziehen. Die Phönizier und Ägypter haben es verstanden, schon in ausgedehnter Weise Segelschiffe zu benutzen. Die Entwicklung des Seeverkehrs stellte den Ingenieur auch vor weitere Aufgaben. Es galt, zahlreiche Hafenanlagen zu schaffen, von denen einige auch heute noch als glänzende Leistungen des Ingenieur-

wesens angesehen werden müssen. Diese Häfen mußten bei der Bedeutung des Windes für die Seeschiffahrt so angelegt werden, daß man nach verschiedenen, möglichst entgegengesetzten Richtungen ausfahren konnte. Vor allem zeichneten sich hier die Griechen in hervorragender Weise durch bewundernswerte Bauten aus.

Auf dem Gebiet des Wegebaues sind besonders römische Bauwerke rühmend hervorzuheben. Die Römer haben das riesige römische Weltreich mit einem ausgedehnten, technisch vorzüglich ausgeführten Straßennetz bedeckt. Zum Wegebau gehört als besonders wichtiges Glied auch der Brückenbau. Holz und Stein waren die Baustoffe der alten Brücken. Auch hier tat sich der römische Ingenieur durch die Ausführung weitgespannter Bogenbrücken besonders hervor. So entstanden gewölbte steinerne Brücken von über 36 m Spannweite. Besonders wichtig wurde hier die Ausbildung des Gewölbes, das eine Reihe von Völkern unabhängig voneinander aus der Überkragung entwickelt haben. Außer diesen hier kurz aufgezählten Ingenieurbauwerken weisen die gewaltigen architektonischen Bauten mit ihren großen künstlerischen Leistungen auf die Fortschritte der gestaltenden Technik hin.

Auch das Kriegswesen, das im Altertum nur zu oft die ausschlaggebende Rolle in den Beziehungen der Völker zueinander spielte, zog den größten Nutzen aus der sich immer mehr entwickelnden Technik. Nicht allein die kriegerischen Tugenden, sondern vor allem auch die Güte der Bewaffnung entschied die Schlachten. Abgesehen von den von Hand geführten Waffen entwickelte sich im Altertum bereits ein durch die Spannkraft von Seilen getriebenes Geschütz, das es bei Griechen und Römern bereits zu weitgehender maschineller Ausbildung brachte.

Als das erste Jahrtausend unserer Zeitrechnung anbrach, stand in gewisser Beziehung die Technik des Altertums auf ihrem Höhepunkt. Die folgenden Jahrhunderte bis zum Zusammenbruch des alten römischen Kulturreiches durch den Ansturm naturkräftiger Barbarenvölker haben nur wenig zur Weiterentwicklung beigetragen. Auch die Jahrhunderte, die diesem gewaltigen Zusammenbruch folgten, boten bei dem kriegerischen Durcheinander der zahlreichen Völker und Volksstämme wenig Zeit und Gelegenheit zu größeren technischen Fortschritten. Die Kenntnisse der Alten breiteten sich in diesen Zeiten, besonders soweit es sich um die für die Herstellung der Waffen so notwendige Technik handelte, weiter aus. Allerdings wurden auch viele Erfahrungen der Alten für lange Zeit fast ganz vergessen, und es bedurfte neuer grundlegender Arbeiten, um das zu erreichen, was man früher schon besessen hatte. Eine neue Zeit begann sich in technischer Beziehung erst im Anfang des 2. Jahrtausends unserer Zeitrechnung innerhalb des deutschen Kulturkreises anzubahnen. Abseits von den Wohnstätten der Machthaber in den einsamen Gebirgsgegenden hatte sich ein freier, in gemeinsamer Arbeit immer mehr erstarkender Bergmannsstand gebildet. Die Technik der Rohstoffgewinnung und -verarbeitung, also der Bergbau auf Erz und die Gewinnung der Metalle und vor allem des Eisens aus den Erzen, begann einen ungeahnten neuen Aufschwung zu nehmen, als man dazu überging, statt der bisher gebrauchten menschlichen und tierischen Muskelkräfte die Gefälle der Gebirgswässer zum Antrieb der Gebläse mit Hilfe der schon im Altertum bekannten Wasserräder auszunutzen.

Bis dahin hatte man in einfachen Herdfeuern, sogenannten Renn- oder Luppenfeuern, in grundsätzlich der gleichen Weise Eisen gewonnen, wie es schon den Alten bekannt war. Man erzeugte so unmittelbar aus den Erzen mehr oder weniger große Stücke Eisens in teigartigem Zustand. Dieses Produkt, Luppe genannt, wurde unter den Hämmern weiterbearbeitet, um gegebenenfalls dem gleichen Prozeß noch

einmal unterzogen zu werden. Flüssiges Eisen kannte man noch nicht. Dementsprechend war auch das Gußeisen den Alten unbekannt geblieben. Die einfachen Herdöfen entwickelten sich nun zu niedrigen schachtartigen Öfen, die mit der Zeit höher wurden, und die man als hohe Öfen oder Hochöfen bezeichnete, wenn sie auch im Vergleich zu den heutigen Anlagen mit ihren wenigen Metern Höhe noch sehr niedrig waren. In diesen Schachtöfen ließen sich nun mit Hilfe der durch Wasserkraft getriebenen Gebläse Temperaturen erzielen, die das Eisen flüssig machten. Damit war ungewollt ein neuer Abschnitt in der Geschichte des Eisens und damit zugleich in der Entwicklung der gesamten auf diesem Rohstoff aufgebauten Technik eingeleitet. Die Hüttenleute wollten zunächst von diesem ihnen ganz unbekannten flüssigen Eisen, das sie für Schlacke hielten, nichts wissen. Schließlich aber lernten sie, dieses geschmolzene Eisen in ihren Herdfeuern weiter zu schmiedbarem Eisen zu verarbeiten, wobei sie ein viel gleichmäßigeres und besseres Produkt erhielten als bei dem alten Verfahren, schmiedbares Eisen unmittelbar aus den Erzen zu gewinnen. Damit war der sogenannte Frischprozeß erfunden, der in verschiedener technischer Ausgestaltung erst gegen Ende des 18. Jahrhunderts durch andere Verfahren abgelöst wurde. Der Hochofenbetrieb ermöglichte es nunmehr erst, Eisen in bisher nicht gekannten Mengen herzustellen. Um diese Fortschritte zu erreichen, waren jahrhundertelange Erfahrungen und viel eingehende Arbeit und Versuche notwendig gewesen, von denen allerdings eingehende Berichte nicht mehr auf uns gekommen sind. Wie sehr aber dann unter dem Einfluß dieser Arbeiten sich die Technik des Bergbaues und Hüttenwesens schon bis zum Anfang des 16. Jahrhunderts gerade in Deutschland entwickelt hat, davon gibt uns das 1556 erschienene umfangreiche Werk des großen Chemnitzer Bürgermeisters Georg Bauer, genannt Agricola, einen vollgültigen Beweis. Aus den vorzüglich ausgeführten zahlreichen Kupfertafeln, die mitten aus dem Leben des damaligen Berg- und Hüttenwesens gegriffen sind, ergibt sich ohne weiteres die technische Bedeutung dieser wichtigen technischen Berufsgruppe. Wir finden hier schon sehr bemerkenswerte Wasserhaltungs- und Fördermaschinen, ferner gut angelegte Hüttenwerke mit großen durch Wasserräder getriebenen Pochwerken und anderen Aufbereitungsmaschinen, sowie mit Wasserkraft bewegte Hämmer, ferner auch Krananlagen und andere auch im einzelnen sehr bemerkenswert durchgeführte Maschinenanlagen. So kamen in der ersten Hälfte des zweiten Jahrtausends unserer Zeitrechnung im Berg- und Hüttenwesen in der Gewinnung und Verarbeitung der anorganischen Rohstoffe die größten Fortschritte der Technik zum Ausdruck.

Die Bedeutung dieser Entwicklung auch für die allgemeine Geschichte tritt am deutlichsten zutage bei der Umwandlung der Waffentechnik, die sie durch Einführung des Pulvers erfuhr. Die so überaus bedeutungsvolle Erfindung des Pulvergeschützes hatte eine entwickelte Technik des Hüttenwesens bereits zur Voraussetzung. Andererseits hat sie weitere große Fortschritte durch das nunmehr auftretende starke Bedürfnis nach leistungsfähigen Geschützen sehr gefördert.

Das Pulver sollen die Chinesen schon sehr früh gekannt haben, ohne daß es ihnen bereits möglich gewesen wäre, es in ausschlaggebender Weise für kriegerische Zwecke zu benutzen. Von ihnen soll es zu den Arabern gelangt sein, die es schließlich nach Europa brachten. Erst im 14. Jahrhundert gelang es dann, es im Geschützwesen zu verwenden. Die weitverbreitete Geschichte von dem Mönch Berthold Schwarz als Erfinder des Pulvers ist in der bekannten Form jedenfalls Legende. Tatsache scheint zu sein, daß er die Zusammensetzung des Pulvers und seine Wirkungen als treibende

Kraft für Geschosse untersucht hat. Schwarz, der um das Jahr 1300 in Freiburg im Breisgau geboren war, begann sich schon früh mit alchimistischen Arbeiten, wahrscheinlich zu Goldmacherzwecken, zu beschäftigen. Mehrmals hatte ihm die aus Salpeter, Schwefel und Kohle dargestellte Mischung seine Gefäße zertrümmert, bis er sich dann aus Bronze eine starke Büchse gießen ließ, mit deren Hilfe es ihm gelang, größere Steine weit fortzuschleudern. Diese Versuche sollen in das Jahr 1330 fallen, und von da an jedenfalls hat diese wichtige technische Erfindung sich sehr rasch verbreitet. Natürlich war man allgemein überzeugt, daß diese furchtbare Erfindung, mit der der feigste Mensch den mutigsten Mann vernichten konnte, nur ein Werk des Teufels sein könne. Wie das Schießpulver das gesamte Kriegswesen vollständig umgewandelt und damit die Entwicklung der Staaten maßgebend beeinflußt hat, ist bekannt. Die neue Technik mußte aber zugleich auch alle beteiligten Gewerbe maßgebend beeinflussen, und deshalb ist die Entwicklung der Schußwaffen auch für die gesamte Technik von größter Bedeutung. Die schwerfällige Kriegsmaschine der Alten hatte jetzt ausgedient und mußte bald ganz verschwinden.

Die ältesten Kanonen bestanden aus einer gegossenen Metallbüchse und aus einem darangesetzten Rohr, das zuerst noch aus starken Holzdauben faßartig zusammengesetzt war. Natürlich ließen diese ersten Geschütze noch sehr viel zu wünschen übrig. Die Weiterentwicklung führte zunächst zu schmiedeeisernen Geschützen und dann zu Bronzegeschützen, erst später zu gußeisernen Geschützen. Die Fabrikation von Bronzekanonen wurde ein besonders wichtiger Industriezweig der deutschen Städte schon um 1400, wie denn gerade diese neue Technik sich in hervorragendem Maße in Deutschland entwickelt hat und von hier aus den anderen Völkern übermittelt worden ist.

Nicht minder folgenreich für die gesamte industrielle Entwicklung sollte eine zweite, in Deutschland zuerst entwickelte Technik werden, die Buchdruckerkunst. Damit war erst die Massenverbreitung der in Schriften niedergelegten Gedanken der Menschen möglich geworden. Was das zu bedeuten hatte gegenüber dem mühseligen, bisher allein üblichen Abschreiben von Büchern, kann man daraus ersehen, daß eine Bibliothek von 152 Bänden 1436 noch als einer der größten damaligen Bücherschätze angesehen wurde. Bildung, soweit sie durch Bücher vermittelbar ist, war deshalb vor Erfindung der Buchdruckerkunst ein Monopol der Reichsten, von einer allgemeinen Bildung konnte keine Rede sein. Die Ausbreitung von Wissen und Erfahrung war auf das äußerste beschränkt, deshalb war der Fortschritt auch auf technischen Gebieten zeitlich außerordentlich verlangsamt. Die Erfindung der Buchdruckerkunst durch Johann Gutenberg geht nicht zurück, wie vielfach erzählt wird, auf den Holzschnitt, auf bewegliche hölzerne Lettern, sie wurde vielmehr begründet auf Gutenbergs Kenntnis von Metallarbeiten. So kam er nach und nach darauf, mittels geeigneter Gießformen Metallettern herzustellen, und diese in entsprechender Weise zusammengesetzten Lettern in einer von ihm erbauten Druckerpresse zum Druck zu benutzen. In der mechanischen Vervielfältigung der Buchstaben, in der Erfindung des Gießinstruments und in der Benutzung geeigneter Pressen besteht das große Verdienst Gutenbergs. Um das Jahr 1400 in Mainz geboren, hat er in mühseliger Arbeit bis zum Jahre 1450 die Erfindung so weit vervollständigt, daß er an den Druck des ersten Werkes gehen konnte. Er wählte hierfür das Buch der Bücher, die Bibel. Sein größtes Werk war die 42zeilige Bibel, die uns in ihrer Ausführung zeigt, daß Gutenberg neben seinem so sehr entwickelten technischen Können auch viel künstlerisches Verständnis besessen haben muß. Wie sehr die Erfindung der

Buchdruckerkunst dem Bedürfnis der Zeit entsprach, ersieht man daraus, daß schon ein halbes Jahrhundert später etwa 16300 Werke in 208 verschiedenen Orten und 1213 verschiedenen Druckstellen hergestellt waren. Daß bei dieser Entwicklung sich auch schnell die technischen Einrichtungen nach verschiedener Seite hin vervollkommneten, ist selbstverständlich.

Die Einführung des Geschützes und die Erfindung der Buchdruckerkunst sind Gipfel der technischen Entwicklung in dem Zeitabschnitt, den wir hier zu betrachten haben, die weit in alle Zeiten hineinragen. Doch aber darf man nicht vergessen, daß auch am Fuße dieser hohen Berge sich die Technik immer weiter Bahn brach. Die Naturkraft des strömenden Wassers wurde mit Hilfe der Wasserräder immer weiteren Gewerben nutzbar gemacht. Neben die alten bekannten Wassermühlen zum Getreidemahlen, zum Holzschneiden, zum Steinsägen traten Mühlen, die die Maschinen der Textilindustrie, in erster Linie die Tuchwalken, zu treiben hatten. Auch hier begannen sich durch die Einführung der Wasserkraft die gewerblichen Verhältnisse von Grund aus umzugestalten.

Zahlreich waren die Erfindungen und Verbesserungen auf allen Gebieten. Auch wenn wir heute aus Mangel an Überlieferung nicht imstande sind, Namen und Zahlen für alle diese Fortschritte anzugeben, so sehen wir doch aus dem innigen Zusammenhang allen technischen Schaffens, wie notwendig diese uns heute oft nur so klein und unbedeutend erscheinenden Entwicklungsfortschritte waren, um die großen Ingenieurleistungen zuwege zu bringen, die wir im nächsten Abschnitt zu betrachten haben. Hier sei kurz nur noch darauf hingewiesen, wie neben dieser den einfachen Berg- und Hüttenleuten und Handwerkern überlassenen technischen Entwicklung sich auch die wissenschaftliche Forschung in einer Richtung zu entwickeln begann, die für die Technik nutzbringend zu werden versprach. Von 1564—1642 lebte der große Bahnbrecher Galileo Galilei, der, auf Versuchen fußend, den Kampf mit der scholastischen Wissenschaft aufnahm. Sein großer Schüler Torricelli, 1608—1647, folgte ihm. Er griff das Dogma von dem Abscheu der Luft vor dem leeren Raum an, er wies den Druck der Luft nach und erfand den Luftdruckmesser, das Barometer. Damit hatte er auf Grund von Versuchen eine Richtung eingeschlagen, die für die zukünftige Entwicklung von größter Bedeutung werden sollte. Hier knüpfen die Arbeiten der großen Forscher Boyle, Huygens und Otto von Guericke an. Der berühmte Magdeburger Bürgermeister, der sich selbst als „Ingenieur" bezeichnet hat, verstand es, diese wissenschaftliche Entdeckung des Luftdrucks auch bereits technisch anzuwenden. Seine berühmt gewordenen Versuche vor Kaiser und Reichstag in Regensburg 1654 waren geeignet, die weitesten Kreise mit dieser neuen Entdeckung bekannt zu machen. In Otto von Guericke finden wir die beiden Grundelemente des heutigen technischen Schaffens bereits vereint, die wissenschaftliche Forschung auf Grund des Versuchs und die schöpferische Anwendung der Ergebnisse dieses Versuchs in Maschinen und Apparaten. Mittelbar läßt sich auf diese Versuche mit dem Luftdruck auch die Erfindung der ersten atmosphärischen Dampfmaschine zurückführen.

Ehe wir darauf eingehen, ist es notwendig, die für die Geschichte der Technik so kennzeichnende Entwicklung des Verkehrs in diesem Zeitabschnitt noch kurz zu betrachten. Die Einrichtungen des Verkehrs zu Lande, in erster Linie der Straßenbau, sind sehr vernachlässigt worden. Nicht entfernt erreichte man die großen Leistungen der Römer. Der mangelhafte Zustand der europäischen Straßen hat auch das dauernde Zusammenhalten großer Reiche unmöglich gemacht. Die römischen Machthaber wußten wohl, wie eine zentrale Gewalt nur wirksam sein kann, wenn gute Verkehrswege ihr



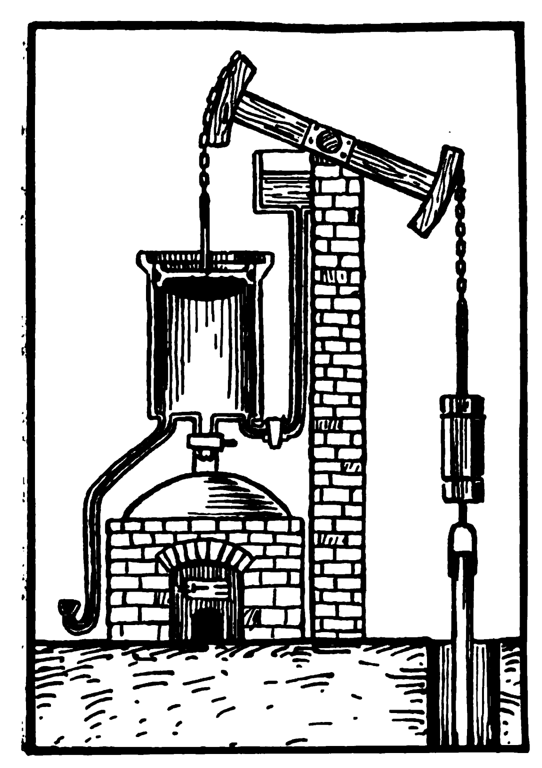
Wasserhebewerk (Sakije) am oberen Nil.

Zu Matschoß: Grundriß der technisch-geschichtlichen Entwicklung.

eine gewisse Allgegenwart geben. Auch die Fortschritte im Verkehr zu Wasser waren bis etwa zum Jahre 1300 noch recht gering. Die Formen blieben die gleichen, wie die Alten sie schon besessen hatten, oder wie die kühnen nordischen Seefahrer sie im Wikingerschiff geschaffen hatten. Nur die Abmessungen wurden langsam etwas größer. In der Hauptsache wurde noch gerudert; aber doch gelang es, die Kraft des Windes immer mehr in den Dienst der Schiffahrt zu stellen. Von größter Bedeutung wurde die Verbesserung der Steueranordnung. Man kannte zunächst nur an der Seite des Schiffes angebrachte Seitenruder, die als Steuer benutzt wurden. Bei hohem Seegang schlugen diese Ruder an die Bordwand und zerbrachen. Eine ganze Anzahl solcher Ruder wurden gewöhnlich zur Aushilfe mitgeführt. Bei hoher See wurde deshalb auch das Steuer an Bord genommen, und die Schiffe mußten steuerlos auf dem Meer umhertreiben. Da kam man darauf, die Steuer am Hintersteven selbst zu befestigen. Die älteste Abbildung eines Segelschiffs mit festem Ruder reicht bis in die Mitte des 13. Jahrhunderts zurück. Die großen Schiffe nahmen die neue Erfindung zuerst an. Noch lange blieb dabei das Seitenruder bei vielen Schiffen im Gebrauch. Unter Benutzung des festen Ruders am Hinterteil des Schiffes konnten nun die Schiffe hochbordiger und damit auch seefähiger werden, und die Größe der Schiffe nahm nunmehr zu. Wenn 1240 das größte englische Schiff noch 80 t Deplacement gehabt hatte, maßen 1340 die größten Hansakoggen bereits 250 t. Mit diesen so seefähiger gewordenen Schiffen konnte man in Verbindung mit dem Kompaß als Wegzeiger nunmehr auch daran denken, die unerforschten Weiten des Ozeans zu durchqueren. Wie diese Entwicklung der Schiffahrt am Ende des 15. Jahrhunderts die in der Menschheitsgeschichte einzig dastehenden großen Fahrten, die 1492 zur Entdeckung Amerikas führten, ermöglichten, ist bekannt. Wie bescheiden aber war noch des Kolumbus größtes Schiff, die „Santa Maria"! Bei einem Deplacement von 246 t hatte sie eine Kiellänge von 19 m, eine größte Breite von 6,7 m, einen mittleren Tiefgang von 2,89 m. Die Ostindienfahrer hundert Jahre später, 1590, maßen schon 700 bis 800 t, und 1640 gehörte das größte Schiff England mit 1637 t, bei einer Kiellänge von 42,6 m, einer Breite von 15,2 m und einem Tiefgang von 6,1 m. Auch in diesen die Entwicklung kurz kennzeichnenden Zahlen sind wichtige technische Fortschritte mit eingeschlossen, die es nach und nach dem Schiffbau ermöglichten, seine Leistungen den gestiegenen Bedürfnissen anzupassen.

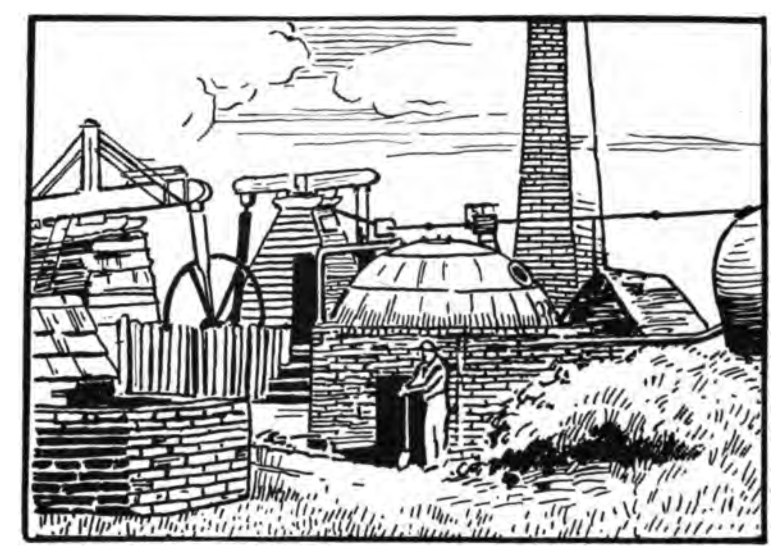
Das 18. Jahrhundert hat mit großen technischen Erfindungen das Fundament gelegt für den gewaltigen Bau, den das 19. Jahrhundert in technischer Beziehung errichten sollte. Allen anderen Leistungen voran steht hier die Nutzbarmachung der Brennstoffe zur Krafterzeugung. Die Nutzbarmachung der Dampfkraft ist das bestimmende Ereignis, das der gesamten neuzeitlichen Entwicklung die Richtung gibt. Die Erfindung der atmosphärischen Kolbenmaschine hat die Welt dem damals in Deutschland lebenden französischen Forscher Denis Papin zu verdanken. Papin hatte als Assistent von Huygens Gelegenheit gehabt, an den bedeutsamen Versuchen über den Luftdruck mitzuarbeiten. Huygens hatte sich auch bereits damit beschäftigt, die Expansionskraft der Pulvergase in einer Kolbenmaschine nutzbar zu machen. Diese Versuche setzte Papin, der 1687 einem Rufe des Landgrafen Karl von Hessen nach Marburg gefolgt war, dort weiter fort. Die Maschine sollte in der Weise wirken, daß kleine Mengen Pulver, am Boden des Zylinders zur Explosion gebracht, die Luft im Zylinder mit sich durch einen Ventilkolben hindurch fortreißen sollten. Der äußere Luftdruck würde dann den Kolben arbeitleistend herabdrücken, und das Spiel der Maschine könnte von vorn beginnen. Es gelang aber nur, sehr geringe Luftverdün-

nung zu erzielen, und die heftigen Explosionen machten es lebensgefährlich, mit der Maschine umzugehen. Da kam Papin 1690 auf den erlösenden Gedanken, statt des Pulvers etwas Wasser zu benutzen, das, zunächst verdampft, die Luft aus dem Zylinder treiben würde. Abgekühlt würde der Dampf wieder zu Wasser werden, einen sehr kleinen Raum einnehmen und dadurch die gewünschte Luftleere erreichen lassen. Eine Versuchsmaschine zeigte die Richtigkeit des Gedankenganges, aber nun kam die technische Herstellung der Maschine, und daran scheiterte der großartige Gedanke des berühmten Gelehrten. Der damaligen Technik war es nicht möglich, die Maschine in dieser Form auszuführen. Die großen Pläne Papins, der mit dem Optimismus des Erfinders seine Maschine schon für alle möglichen Zwecke, ja sogar für den Verkehr zu Lande und zu Wasser angewandt sah, blieben unausgeführt. Man suchte jetzt zunächst das Anwendungsgebiet zu beschränken. Man wollte sich damit begnügen, mit der Dampfkraft Wasser zu heben. So entstanden durch die Arbeiten Saverys um die Wende des 17. Jahrhunderts in England, in Deutschland wieder durch die Arbeiten Papins sehr interessante, direkt wirkende Dampfpumpen, bei denen der Dampfdruck unmittelbar das Wasser in der Maschine empordrücken sollte. Die Arbeitsweise der Saveryschen Pumpe finden wir heute noch in unserem Pulsometer benutzt. So sehr damals schon in England für die Wasserhaltung der Gruben das Bedürfnis vorlag, leistungsfähige technische Einrichtungen zum Heben der Grubenwasser sich zu verschaffen, so machte es doch die mangelhafte technische Ausführung der Saveryschen Maschine unmöglich, sich als „Freund des Bergmanns", wie ihr Erfinder sie genannt hatte, auch zu bewähren. Wirtschaftlich ist sie stets von untergeordneter Bedeutung geblieben. Erst einem Grobschmied, Newcomen, der sich der geschäftlichen Seite wegen mit einem Glasermeister Cawley verband, war es beschieden, der Papinschen atmosphärischen Kolbenmaschine die technische Ausgestaltung zu geben, die sie befähigte, in erster Linie den englischen Gruben, die sich der unterirdischen Wasser nicht mehr erwehren konnten, Hilfe in äußerster Not zu bringen. Newcomen begann etwa 1705 mit seinen Versuchen, von denen uns aber nichts Näheres bekannt ist. Erst 1711 hören wir von bestimmten Vorschlägen, die Newcomen für eine Wasserhaltungsmaschine machte. 1712 scheint die erste Newcomen-Maschine in Betrieb gekommen zu sein. Über einem einem großen Kochtopf ähnlichen Kessel war ein oben offener Zylinder angebracht, in dem sich ein Kolben auf und ab bewegen konnte. Der Kolben hing mit einer Kette an der einen Seite eines zweiarmigen Hebels, des Balanciers, an dessen anderem Ende das zum Schacht führende Pumpengestänge angriff. Während der Kolben durch das Übergewicht des Pumpengestänges nach oben gezogen



○ Newcomens entatmosphärische Maschine. ○

wurde, ließ man Dampf in den Zylinder, der zuerst durch Oberflächen-Kondensation, sehr bald aber durch Einspritz-Kondensation wieder zu Wasser verwandelt wurde. Der äußere Luftdruck vermochte sodann den Kolben abwärtszudrücken und damit gleichzeitig die Pumpe in Tätigkeit zu setzen. In den nächsten Jahren gelang es sodann, den bei dem Bau der alten atmosphärischen Maschine beteiligten Kunstmeistern auch die Bedienung der einzelnen Steuerorgane der Maschine selbst zu übertragen. 1718 finden wir die erste atmosphärische Maschine mit selbsttätiger, praktisch brauchbarer Steuerung in Tätigkeit. Wohl kamen auch einzelne derartige Maschinen außerhalb Englands in Tätigkeit und überzeugten weitere Kreise von der Wahrheit des ungläubig vernommenen Gerüchts, daß es nunmehr in England gelungen sei, „mit Feuer Wasser zu heben".



Anlage von atmosphärischen Maschinen bei Derby. Bis 1886 in Betrieb gewesen.

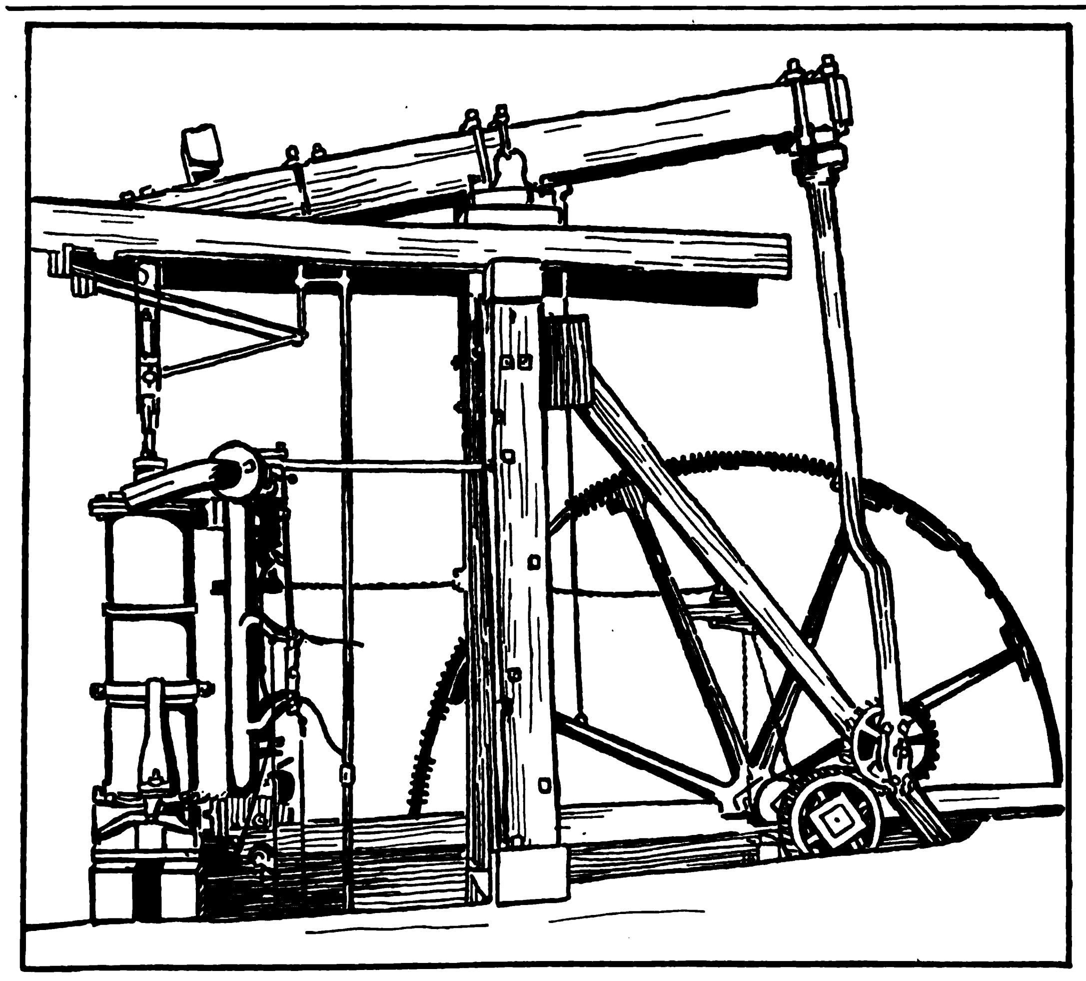
Die technischen Fortschritte in der konstruktiven Durchbildung der Maschine waren anfangs noch sehr gering. Man war zufrieden, wenn die Maschine überhaupt nur die gewünschte Arbeitsleistung erreichte, und rechnete ihr den Kohlenverbrauch noch nicht ängstlich nach. Hier gab erst der große englische Ingenieur Smeaton, der auf so vielen Gebieten der Technik hervorragende Dienste geleistet hat, der Maschine eine weitere Durchbildung.

Während so die atmosphärische Maschine in den siebziger Jahren des 18. Jahrhunderts auf die Höhe ihrer Entwicklung gebracht wurde, war es dem großen Schotten James Watt bereits gelungen, die erste Dampfmaschine in unserem Sinne zu schaffen, und damit die moderne technische Entwicklung zu begründen. Selten zeigt eine Erfindungsgeschichte das Zusammenarbeiten von kritisch klar denkendem Verstand mit größter Phantasie so klar wie die Arbeiten Watts. Mit den einfachsten Mitteln unternahm er wissenschaftlich einwandfreie Versuche, um die Kenntnis der Naturkraft, die er der menschlichen Arbeit in viel größerem Umfang als bisher nutzbar machen wollte, zu vertiefen. Die wissenschaftliche Kritik dieser Versuche führte ihn dann zu den Verbesserungen, die an Bedeutung in der ganzen Geschichte der Technik nur wenige ihresgleichen haben. Die atmosphärischen Maschinen waren auch für reiche Gruben allzu große Kohlenfresser. Watt erkannte als Ursache dieser schlechten Dampfausnutzung die Tatsache, daß man an einen und denselben Raum, den Zylinder, zwei gegensätzliche Anforderungen stellte. Er sollte für die Aufnahme des Dampfes so warm als möglich, als Kondensationsraum so kalt als möglich sein. Indem Watt durch Trennung des Kondensators vom Zylinder die örtliche Gemeinsamkeit dieser beiden Arbeitsvorgänge aufhob, beseitigte er zugleich den Hauptgrund für den so

ungemein hohen Dampfverbrauch. Der Kondensator wurde als drittes selbständiges Glied neben Kessel und Zylinder gestellt. Der Dampfdruck trat ferner an die Stelle des Luftdrucks, und damit war die Dampfmaschine entstanden. Watt begnügte sich nicht damit, diese Lösung gezeigt zu haben. Er setzte eine harte Lebensarbeit daran, der neuen Maschine die praktisch brauchbare Form zu geben. Der Weg dazu war ungemein mühselig, da es weder Werkzeugmaschinen in unserem Sinne zur Bearbeitung der einzelnen Teile, noch gelernte Arbeiter gab. Alle unsere heutigen selbstverständlichen Hilfsmittel des Maschinenbaues harrten noch ihrer Entwicklung. Aus der Geschichte der Dampfmaschine kann man lernen, wieviel für den Erfolg von den sogenannten Kleinigkeiten abhängt, die doch so wesentlich sind für das Gelingen auch der Maschine, die auf bester wissenschaftlicher Erkenntnis der Naturgesetze aufgebaut ist. 1765 war Watts grundlegende Erfindung vollendet; der erste Versuchsapparat hatte gezeigt, daß der Gedankengang richtig war. Am 5. Januar 1769 wurde Watt das denkwürdige Patent auf die Dampfmaschine erteilt. 1775 gelang es ihm, mit dem englischen Großindustriellen Boulton, der ebenso groß als Unternehmer wie Watt als Ingenieur war, in Verbindung zu treten, und diese beiden Männer haben in gemeinsamer 25jähriger Arbeit der Menschheit die praktisch brauchbare Dampfmaschine geschaffen. Zunächst war auch Watts einfach wirkende Dampfniederdruckmaschine ausschließlich wie die atmosphärische Maschine zur Wasserhaltung in den Gruben bestimmt. 1781 aber gelang es Watt, seine Maschine für Drehbewegung auszubilden, und im folgenden Jahr, sie auch doppeltwirkend zu machen. Damit war dann eine normale Betriebsmaschine geschaffen, die zum Antrieb aller nur denkbaren Arbeitsmaschinen geeignet war. Die Dampfkraft begann jetzt die gesamte gewerbliche Tätigkeit zu durchdringen. Sie schuf alte Handwerke zu neuen Industrien um, sie steigerte die Leistungsfähigkeit der bisher erfundenen Arbeitsmaschinen in ungeahnter Weise und drängte dazu, neue Maschinen zu erfinden. So gibt es kein Gebiet der Technik, in das nicht bahnbrechend die durch die Dampfmaschine ermöglichte Ausnutzung der Dampfkraft eingegriffen hätte. Die Geschichte der Technik teilt sich in eine Zeit vor und eine Zeit nach Einführung der Dampfmaschine.

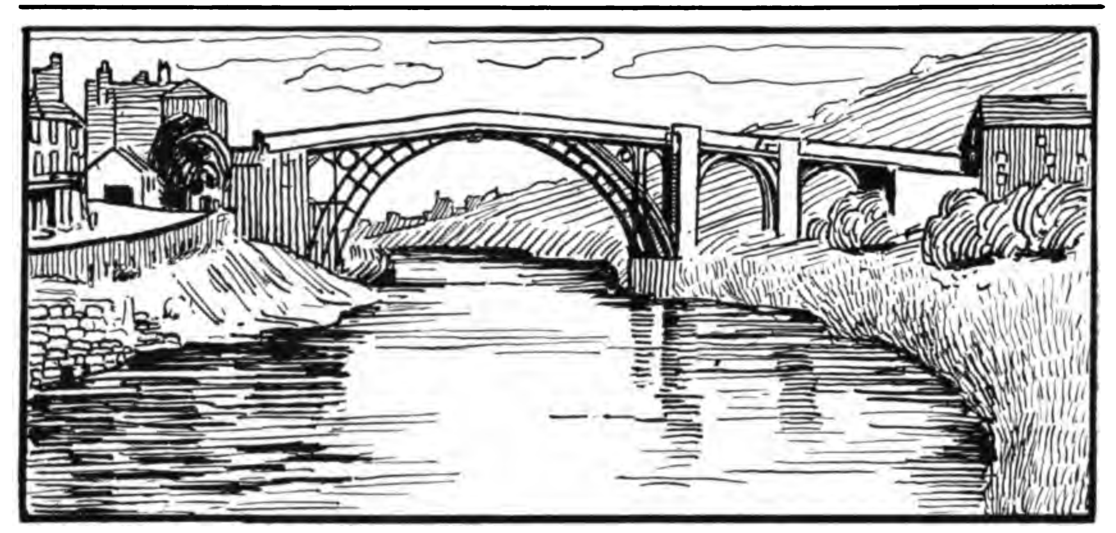
Allerdings hatte die Entwicklung der Dampfmaschine und der anderen durch sie beeinflußten technischen Gebiete auch gleichzeitig wesentliche Fortschritte in der Eisengewinnung und Eisenverarbeitung zur Voraussetzung, wie denn der wechselweise Einfluß der verschiedensten technischen Arbeitsgebiete in der Geschichte der Technik stets sehr deutlich zutage trat.

Die Eisenindustrie war am Anfang des 18. Jahrhunderts noch ausschließlich auf Holzkohlen angewiesen. Mit der wachsenden Eisenerzeugung schwanden die Wälder dahin. Laut begann man die „gefräßigen Öfen“ anzuklagen, daß sie den Waldreichtum Englands vernichteten, wodurch man immer mehr gezwungen wurde, das so wichtige Schiffbauholz vom Auslande zu beziehen. Aber wie Abhilfe schaffen? Die Benutzung der Steinkohle zur Eisenherstellung im Hochofen wollte zunächst durchaus nicht gelingen. Erst nach ungewöhnlich großen Mühen, langen Versuchen, glückte es den großen englischen Eisenhüttenleuten Abraham Darby Vater und Sohn, praktisch brauchbare Ergebnisse unter Benutzung von Steinkohlenkoks zu erzielen. Damit war in England schon in der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts eine der wichtigsten Grundlagen für die gewaltige Entwicklung der Eisenindustrie gegeben worden. Als es dann in den sechziger Jahren durch Einführen des Zylindergebläses gelang, auch maschinentechnisch die Mittel an die Hand zu geben, durch die es möglich wurde, die Leistun-



Bauart der ersten doppeltwirkenden Betriebsmaschine Watt. Originalmaschine von 1788 bis 1858 in o Betrieb gewesen, heute im Science-Museum in London. o

gen der Hochöfen sehr zu steigern, begann zunächst in England sehr schnell der Steinkohlenbetrieb bei den Hochöfen sich allgemein einzuführen. Aber noch brauchte man ausschließlich die Holzkohle zur Herstellung des Schmiedeeisens in den Frischfeuern. Die unmittelbare Benutzung von Steinkohlenkoks machte wegen des Schwefelgehalts der Steinkohle das Eisen für technische Zwecke unbrauchbar. Da erfand 1785 Henry Cort das Frischen mit Hilfe des Flammofens, den sogenannten Puddelprozeß, bei dem die Steinkohlen, da sie nicht mehr mit dem Eisen in Berührung kamen, sich ohne weiteres verwenden ließen. Damit hatte auch hier die Kohle über das Holz gesiegt. Die ungeheuren Steinkohlenschätze Englands gewannen für die Weiterentwicklung der Industrie eine immer gewaltigere Bedeutung. Auch die Erfindung des Gußstahls durch Benjamin Huntsman, 1740, war hoch bedeutsam für die weiteren Fortschritte der Industrie und trug insofern zur Überlegenheit der englischen Industrie wesentlich bei, da das Geheimnis des Herstellungsverfahrens das ganze Jahrhundert über in England bewahrt wurde. Die großen Fortschritte im Eisenhüttenwesen zeigten sich im Vordringen des Eisens als Baustoff. Man begann das Eisen und zunächst



Erste eiserne Brücke, 1778 erbaut. Führt über den Fluß bei der nach ihr benannten Stadt Iron-bridge. ○ Noch heute benutzt. Bogen an 100 Fuß Spannweite. ○

das Gußeisen im Maschinenbau und im Bauwesen viel mehr als bisher zu verwenden. Vor allem die ersten eisernen Brücken erregten Aufsehen und große Bewunderung.

Von größter Bedeutung waren neben den geschilderten Ereignissen in der Eisenindustrie die gewaltigen Fortschritte auf dem Gebiet der Textilindustrie. Für das Spinnen der Baumwolle wurde zuerst die maschinelle Lösung gefunden. Am schwersten war es, das Ausziehen des Materials, d. h. die Anordnung der Fasern zu einem Faden, mit der Maschine zu bewirken. Es schien fast unmöglich zu sein, die Hand der Spinnerin zu ersetzen. Diese Aufgabe wurde gelöst und dadurch die Grundlage der Maschinenspinnerei geschaffen, durch die Anwendung der sogenannten Streckwalzen. Zwei oder drei Walzenpaare wurden so angetrieben, daß das folgende Paar mit größerer Geschwindigkeit als das vorhergehende die Baumwolle einzieht und weitergibt. Diese Erfindung, deren Bedeutung damals noch nicht entfernt geahnt werden konnte, stammt von Wyatt, der sich seit etwa 1730 damit beschäftigt hatte. Sein Gesellschafter Paul erhielt 1738 ein Patent darauf. Das Verdienst, die Anfänge der Spinnmaschine, die praktische Erfolge noch nicht aufzuweisen hatte, weiterentwickelt und die erste wirtschaftlich bedeutungsvolle Baumwollenspinnerei geschaffen zu haben, gebührt Arkwright, der 1769 mit seiner Spinnmaschine, die Streckwalzen aufwies, an die Öffentlichkeit trat. Bis 1775 fügte Arkwright wichtige Vorbereitungsmaschinen hinzu, durch die der große Erfolg der Maschinenspinnerei erst möglich wurde. Während diese Spinnmaschine noch kein feines oder schwachgedrehtes Garn spinnen konnte, gelang es Hargreaves, in den Jahren 1764—67 eine Spinnmaschine zu bauen, wo statt der Streckwalzen das Ausziehen der Fäden mit einer Presse und einem von der Hand bewegten Wagen bewirkt wurde. Hiermit ließ sich auch ein schwachgedrehtes Garn erzielen. Crompton gelang es dann in den siebziger Jahren, durch Vereinigung der wesentlichen Bestandteile beider Maschinen zu einer neuen Maschine eine Spinnmaschine zu schaffen, die bald allen Anforderungen in sehr viel größerem Maße gerecht wurde. Bei dieser Maschine finden wir sowohl die Walzenstreckvorrichtung als auch den ausziehbaren Wagen. Die Leistungsfähigkeit der Maschine wurde sodann in dem ersten Viertel des folgenden Jahrhunderts dadurch sehr

erheblich gesteigert, daß es gelang, auch die Arbeit des Wageneinfahrens und Aufwindens, das bis dahin noch von der Hand geschehen mußte, der Maschine selbst zu übertragen. So entstand die selbstspinnende Maschine, der „Selfactor", der durch Roberts zu Manchester 1825 die erste wirklich praktisch brauchbare Form erhielt. Eine ähnliche Entwicklung vollzog sich allerdings später als bei der Baumwolle auf dem Gebiet der Woll- und Flachsspinnerei.

Um mit der Verarbeitung der Garne mit der gegenüber dem Handbetrieb so riesig gestiegenen Leistungsfähigkeit der Maschinenspinnerei Schritt zu halten, war es notwendig, auch auf dem Gebiet der Weberei vom Handbetrieb zum Maschinenbetrieb überzugehen. Auch hier bedurfte es langer mühseliger Versuche, bis es schließlich dem menschlichen Erfindungsgeist gelang, auch diese Aufgabe zu lösen. In den achtziger Jahren des 18. Jahrhunderts gelang es dem Engländer Cartwright, einen Maschinenwebstuhl zu bauen und eine Weberei, die nur mit mechanischen Stühlen arbeitete, in Betrieb zu setzen. Allerdings sollten sich auf diesem Gebiet dauernde praktische Erfolge erst im Anfang des 19. Jahrhunderts erzielen lassen. Mit diesen bahnbrechenden Erfindungen auf dem Gebiet der Textilindustrie war dem Maschinenbau ein riesiges Anwendungsgebiet erschlossen worden. Hier entwickelte sich zuerst der neuzeitige Fabrikbetrieb, der zahlreiche neue Bedürfnisse an verschiedenartigsten Hilfsmaschinen und anderen maschinellen Einrichtungen zeitigte und somit wieder zur Weiterentwicklung der gesamten Technik sehr wesentlich beigetragen hat.

Die industrielle Entwicklung ist in ungewöhnlich hohem Maße von günstigen Verkehrsbedingungen abhängig. Das trat auch im 18. Jahrhundert deutlich zutage. In England führten die sehr schlechten Verkehrsverhältnisse auf dem Lande dazu, ein groß angelegtes Kanalnetz zu schaffen, das in Verbindung mit den Flüssen und der stark gegliederten Seeküste dem Lande Verkehrsmöglichkeiten gab, mit denen sich die eines anderen Landes kaum vergleichen ließen. Auch auf diesem Gebiet hat das 18. Jahrhundert bereits bewundernswerte technische Leistungen hervorgebracht.

Eine Umgestaltung des gesamten Verkehrs von Grund aus sollte doch erst durch Einführung der Dampfkraft in dieses Gebiet erreicht werden. Die für die ganze Menschheitsentwicklung so ungemein wichtigen technischen Ereignisse, die in der Schöpfung der Lokomotiveisenbahn und des Dampfschiffs zu sehen sind, gehören der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts an.

Zuerst ist die Dampfkraft auf dem Wasser heimisch geworden. Der Gedanke, ein Dampfschiff zu bauen, hat bereits Denis Papin beschäftigt, und die auch auf technischem Gebiet oft so begünstigte Legendenbildung hat ihm sogar die Ausführung dieses Gedankens schon zuerkannt. Ein Brief Papins an Leibniz, den wir besitzen, spricht aber ausdrücklich nur von dem Plan und weist auf die Schwierigkeiten hin, die der Ausführung zurzeit noch entgegenstehen. Erst am Ende des 18. Jahrhunderts finden wir vor allem in Amerika, in England und Frankreich eine Anzahl Männer damit beschäftigt, die Dampfmaschine vom festen Lande auf den bewegten Schiffskörper zu verpflanzen. Die Versuche genügten, um nachzuweisen, daß dies möglich sein mußte, und manche kühne Erfinder versprachen sich schon glänzende Erfolge von ihren Entdeckungen. Zu wirklich praktischen Erfolgen von längerer Dauer aber brachte es das 18. Jahrhundert noch nicht. Dem amerikanischen Ingenieur Robert Fulton war es beschieden, mit Hilfe einer nach seinen Angaben in der Wattschen Fabrik in England erbauten Dampfmaschine am 17. August 1807 von Neuyork bis

Albany eine so erfolgreiche Dampferfahrt zu unternehmen, daß von da an zunächst in Amerika sich die Dampfschiffahrt dauernd einführte. In Europa führte der Schotte John Bell 1812 mit seinem „Comet" die Dampfschiffahrt als wirtschaftlich brauchbares Verkehrsmittel ein. In wenigen Jahren entstanden ganze Dampferflotten und begannen das seit uralten Zeiten benutzte Segelschiff immer weiter zurückzudrängen, besonders seit es den Ingenieuren in den dreißiger Jahren auch gelang, die Weiten des Ozeans den Dampfschiffen zu erschließen. Im engsten Zusammenhang mit den weiteren Fortschritten der Technik entwickelte sich sodann der Dampfschiffbau besonders nach Einführung der Schraube als Treibmittel. Schließlich mußte auch hier das Holz als Baustoff weichen, Eisen und Stahl traten an seine Stelle. Die Abmessungen und damit wieder die Leistungsfähigkeit der Schiffe und ihrer Maschinen nahmen gewaltig zu. Die Dampfmaschine des Bellschen „Comet" 1812 hatte etwa 3 PS, heute haben die größten Schnelldampfer Maschinenleistungen von 60000 PS zu ihrer Verfügung.

Etwas länger dauerte es, bis die Dampfmaschine auch im Landverkehr heimisch wurde. Allerdings hatte schon in Frankreich 1769 Cugnot ein Automobil zur Fortschaffung schwerer Geschütze gebaut, das mit einer atmosphärischen Maschine ausgerüstet war. Dieser Ahnherr des heutigen Automobilgeschlechts ist uns noch erhalten und zeigt uns, daß allerdings mit den Mitteln der Technik, wie sie damals zur Verfügung standen, eine so schwere Aufgabe sich noch nicht hat lösen lassen. Am Anfang des 19. Jahrhunderts hat dann der berühmte englische Ingenieur Richard Trevithick sehr interessante Dampfwagen ausgeführt und 1804 auch bereits auf eiserner Schienenbahn eine Dampflokomotive laufen lassen. Dauernde Erfolge aber konnte er noch nicht erzielen. Diese sollten in erster Linie George Stephenson beschieden sein, dem es unter eifriger Mitarbeit vieler anderer hervorragender Ingenieure gelang, die Grundlage für unser heutiges Eisenbahnsystem zu schaffen. 1814 konnte er bereits seine erste Lokomotive für eine Grubenbahn in Betrieb setzen. Einige andere einfache Grubenlokomotiven folgten. Besonders bedeutungsvoll für die Weiterentwicklung des Eisenbahnwesens wurde die Stockton-Darlington-Eisenbahn, auf der die Kohlenschätze der Grafschaft Durham zur Nordsee geführt werden sollten. Stephenson, der 1823 zum Ingenieur dieser Bahnlinie erwählt wurde, führte den Lokomotivbetrieb ein und fand auch so weitgehende Geldunterstützung, daß er 1824 in Newcastle die erste Lokomotivfabrik der Welt gründen konnte. Im April 1825 wurde die erste Lokomotive auf dieser Bahnlinie in Betrieb gesetzt.

So bedeutsam auch diese Eisenbahnlinie schon damals war, ungleich mehr sollte die Aufmerksamkeit der gesamten Welt auf diese technische Aufgabe gelenkt werden durch die Eisenbahnlinie Liverpool-Manchester. Hiermit trat die Eisenbahn aus dem engen Verwendungsgebiet des Bergbaues hinaus, hier hatte sie die Aufgabe, zwei der wichtigsten Handelsorte miteinander zu verbinden. Die Eisenbahn wurde gebaut, aber die Ingenieure konnten sich über die Betriebsart auf der Eisenbahn nicht einigen. Pferdebetrieb schien das sicherste zu sein, von Lokomotivbetrieb wurde gar nicht geredet, nur einige Ingenieure traten dafür ein, mit ortsfesten Dampfmaschinen durch Seile die Wagen fortzuziehen. Da trat Stephenson mit großer Energie dafür ein, daß man mit den Lokomotiven doch wenigstens einen Versuch machen sollte. Sein Versprechen, er wolle eine Lokomotive bauen, mit der man etwa 32 km in der Stunde fahren könne, wurde als leere Prahlerei verspottet. Schließlich aber gelang es ihm doch, die Gesellschaft zu veranlassen, einen Preis von 500 £ auf eine Lokomotive zu setzen, die die von der Gesellschaft aufgestellten Anforderungen erfüllte. Dieses



Stephensons Lokomotive „Rakete“, 1830.

Preisausschreiben begann bald die technische Welt in Aufregung zu versetzen. Die Bestimmungen wurden überallhin verbreitet, und gar mancher erhoffte den Preis zu erringen. Am 6. Oktober 1829 kam auf einer vollkommen ebenen Strecke bei Rainhill von über 3 km Länge der so weltberühmt gewordene Wettkampf der Lokomotiven zum Austrag. Nur vier Lokomotiven waren auf dem Platz erschienen. Eine große Schar von Zuschauern, bedeutende Männer aus allen Teilen der industriellen Welt, waren herbeigeeilt, um das Ergebnis beobachten zu können. Stephenson errang mit seiner „Rocket" genannten Lokomotive einen glänzenden Sieg. Die kühnsten Hoffnungen der größten Lokomotivfreunde wurden hierdurch noch weit übertroffen. Eine Höchstgeschwindigkeit von 56 km in der Stunde war vorübergehend erreicht worden. Am 15. April 1830 konnte dann die ganze Linie in feierlicher Weise dem Verkehr übergeben werden. Mit diesem Tage beginnt der moderne Eisenbahnverkehr. Ende 1830 betrug die gesamte Eisenbahnlänge 381 km, 1850 bereits über 38000 km, und heute durchfahren Lokomotiven eiserne Schienenstrecken, die mehr als das Neunzehnfache des Erdumfanges betragen.

Die Bedeutung des durch die Dampfmaschine auf dem Wasser und dem Lande geschaffenen modernen Verkehrs für die Entwicklung der Industrie kann nicht überschätzt werden. Auch für viele andere Industrien mußte der moderne Verkehr als Auftraggeber von ausschlaggebender Bedeutung werden. Erst die besseren Verkehrsverhältnisse erweiterten die Absatzmöglichkeiten der einzelnen Industriezweige so, daß ein Nutzen von der durch die Maschine erzielten Massenfabrikation erreicht werden konnte. Insofern haben Lokomotive und Dampfschiff erst die weittragenden Erfolge der weiteren maschinellen Erfindungen ermöglicht. Auf die ungewöhnlich großen kulturellen Einwirkungen, die unabhängig von dem Einfluß auf die Industrie durch den modernen Verkehr hervorgerufen wurden, kann hier nur hingewiesen werden.

Die wichtigsten technischen Grundlagen des Lokomotivbaues waren schon in Stephensons „Rocket" gegeben. Schon diese Lokomotive hatte den bis heute gebräuchlichen Heizröhrenkessel. Die Zylinder der ersten Ausführung lagen noch schräg, bei den später erbauten Lokomotiven bekamen sie dann die noch heute übliche wagerechte Lage. Die stetig steigenden Bedürfnisse stellten den Ingenieur vor die Aufgabe, unter Beibehaltung eines der Hauptmaße, das in der festliegenden Spurweite gegeben war, die Leistung der Lokomotive immer weiter zu steigern. Wenn man die heutigen Riesenlokomotiven von über 100 t Gewicht mit jener siegreichen „Rocket" vergleicht, die nach dem Preisausschreiben nicht mehr als 6,1 t wiegen durfte, so sieht man, welch riesige Fortschritte auch auf diesem Gebiet im Laufe weniger Menschenalter erreicht wurden. Den so ungeheuer gestiegenen Gewichten entsprechen die größeren maschinellen Leistungen. Die „Rocket" hatte etwa eine Leistung von 10—12 PS, unsere heutigen größten Lokomotiven weisen Leistungen von Tausenden von Pferdestärken auf.

Mit der Entwicklung der Lokomotiven mußten die Fortschritte des Eisenbahnoberbaues Schritt halten. Die Schienenwege wurden stetig verbessert. Eine große Anzahl von Einzelheiten, die jede für sich unentbehrlich in der langen Kette des Zueinandergehörenden ist, mußte ersonnen und ausgeführt werden. Vor allem aber galt es, bei dem immer größer werdenden Eisenbahnnetz auch anscheinend unüberwindliche Verkehrshindernisse zu überwinden. Die Ingenieure wurden vor riesige neue Aufgaben gestellt, es galt Brücken von bisher unbekannter Tragfähigkeit und noch nicht ausgeführten Spannungen zu erbauen, es handelte sich darum, mit den

Eisenbahnen hohe und unwirtliche Gebirgszüge zu überwinden, staunenswerte Durchdringungen gewaltiger Gebirgsmassen mit Tunnels wurden ausgeführt.

Sehr wichtige Fortschritte in der Eisenindustrie waren naturgemäß die Voraussetzung für diese gewaltige Entwicklung der eisernen Dampfschiffe, der eisernen Schienenbahnen, der eisernen Brücken und des gesamten eisernen Maschinenwesens, das der Neuzeit den Stempel des Maschinenzeitalters aufgedrückt hat. Eine folgenschwere Erfindung auf diesem Gebiet war die Einführung des erhitzten Windes beim Schmelzprozeß, besonders bei den Hochöfen. Dadurch erst wurde die Steigerung der Produktion möglich, wodurch der so riesig gesteigerte Bedarf an Eisen, der durch die Eisenbahnen hervorgerufen wurde, befriedigt werden konnte. Ohne neue Schmelzöfen nötig zu haben, konnte durch diese Erfindung die Roheisenproduktion verdoppelt werden. Das Verdienst, auf diesem Gebiet bahnbrechend vorangegangen zu sein, gebührt James Neilson, der 1828 ein Patent hierauf erhielt. Unter sehr großen Schwierigkeiten verbreitete sich sodann die Einführung des erhitzten Gebläsewindes.

Eine neue Entwicklung der gesamten Eisenindustrie wurde dann durch Henry Bessemer eingeleitet. Am 16. August 1856 hielt er seinen berühmten Vortrag über die neue von ihm erfundene Stahlbereitung, bei der er geschmolzenes Roheisen mit Hilfe von durchgeblasener atmosphärischer Luft in flüssigen Stahl, ja sogar in flüssiges Schmiedeisen verwandeln konnte, ohne Brennstoffe anzuwenden. Diese neue Erfindung erregte ungeheures Aufsehen. Die ganze Welt begann sich damit zu beschäftigen und war zunächst enttäuscht, als auch bei dieser bahnbrechenden Erfindung der Erfolg sich nicht sofort einstellen wollte. Es bedurfte auch hier erst unablässig durchgeführter langer Versuche, bis es gelang, den genialen Gedanken in großem Maßstabe in die praktische Wirklichkeit zu übersetzen. Dann aber brach mit der Erfindung Bessemers die neueste Zeit, das Zeitalter des Stahles an. Es begann der Kampf des Flußeisens gegen das Schweißeisen, in welchem das neue Material Sieger bleiben sollte. Zu den Fortschritten auf diesem Gebiet gesellten sich große Erfindungen, die sich auf die maschinelle Weiterverarbeitung des Eisens bezogen. Hierher gehören die Erfindung und Einführung der immer leistungsfähiger ausgestalteten Walzwerke, Dampfhämmer und der hydraulischen Pressen, sowie vieler anderer Maschinen, die ein Bearbeiten des Eisens nach jeder Richtung mit Hilfe von Hobelmaschinen, Drehbänken, Bohrmaschinen usw. ermöglichten.

Auch auf jedem anderen Gebiet gewerblicher und industrieller Tätigkeit begann man nach einer maschinellen Lösung für die bisher allein übliche Handarbeit zu suchen. So wurde ein Betrieb nach dem anderen von der Maschine erobert. Bahnbrechende Erfindungen auf fast allen Gebieten führten zu ganz neuen Arbeitsweisen, weckten neue Bedürfnisse, die wieder von anderer Seite befriedigt wurden. Unablässig wuchs Zahl und Art der Maschinen.

Nicht minder großartig ist die Entwicklung der großen Industriegruppen gewesen, die sich auf den Fortschritten der naturwissenschaftlichen Erkenntnis, besonders auf dem Gebiet der Chemie, im 19. Jahrhundert in früher ungeahnter Weise entwickelten. Die chemische Großindustrie hat für ihre staunenswerten Leistungen auch wieder in sehr erheblichem Maße Maschinen und Apparate herangezogen.

Nur auf eine der bahnbrechenden Erfindungen aus dem Anfang des 19. Jahrhunderts soll hier ihrer weit über das eigentliche technische Gebiet hinausgehenden allgemeinen Bedeutung wegen noch kurz eingegangen werden: der Erfindung der Gasbeleuchtung. Mit dem Steinkohlengas wurde der erste große Fortschritt in der künstlichen Beleuchtung seit dem Altertum erzielt. Mit ihm beginnt die Zeit der modernen

Beleuchtung, die sich durch ihre mit jedem Jahrzehnt steigenden gewaltigen künstlichen Lichtfluten in dieser Beziehung so glänzend unterscheidet von dem Dunkel der Vergangenheit.

Schon am Ende des 17. Jahrhunderts wußte man, daß das bei trockener Destillation des Holzes und der Steinkohle entstandene Gas brennbar sei, aber erst am Ende des 18. Jahrhunderts gelang es dem berühmten Mitarbeiter Watts, Murdock, das Steinkohlengas für praktische Beleuchtungszwecke zu verwenden. Der französische Ingenieur Lebon benutzte seit 1786 das bei der Holzverkohlung in verschlossenen Behältern sich entwickelnde Gas zur Heizung und zur Beleuchtung. Seine Thermolampe wurde 1800 bekannt, aber die blasse Flamme des Holzgases eignete sich nicht für die Beleuchtung. Die Erfindung Murdocks wurde dann 1802 zuerst in weiten Kreisen bekannt. 1804 konnte dann das erstemal Gaslicht im großen in einer Baumwollspinnerei verwendet werden. 1815 waren bereits viele Straßen und Gebäude Londons sowie anderer Städte Englands durch Steinkohlengas erleuchtet.

In Deutschland erleuchtete Lampadius schon 1811 wochenlang den Teil einer Straße in Freiberg i. S. mit Gas. Die erste allgemeine Straßenbeleuchtung mit Gas erhielt dann 1826 Hannover. Berlin erhielt 1828 die ersten Gaslaternen. Mit der Gasbeleuchtung war auch die erste von einer Zentrale erfolgende Beleuchtung geschaffen worden.

Neben den Gasanstalten, die als zentrale Anlagen für alle heutigen Städte kennzeichnend geworden sind, entwickelten sich die städtischen Wasserwerke zu bedeutsamen Zentralanlagen, die neben den Kanalisationsanlagen heute für alle Großstädte unentbehrlich geworden sind. Wie sehr diese gewaltigen technischen Einrichtungen, die dauernd der Industrie durch ihre großen Aufträge Beschäftigung geben, die Gesundheitsverhältnisse in den Großstädten in günstigstem Sinne beeinflußt haben, läßt sich aus den statistischen Nachweisen der Städte über den Gesundheitszustand und die Todesfälle erweisen.

Unter wechselweise günstiger Beeinflussung der Erfindungen auf allen Gebieten begann sich die Technik in immer schnellerem Maßstabe zu entwickeln und alle Gebiete menschlichen Schaffens zu durchdringen. Große geschäftliche Krisen, die zeitweise die industrielle Entwicklung mächtig hemmten, vermochten doch in keiner Weise den wirklichen technischen Fortschritt zu unterbrechen, ja oft förderten sie ihn, indem sie zu größerer Ersparnis, zu wirtschaftlicher Verwendung der Rohstoffe und der benutzten Energiequellen drängten.

Im Laufe des 19. Jahrhunderts begann sich auch in allen industriellen Ländern das technische Erziehungswesen zu entwickeln. Durch die technischen Schulen der verschiedensten Gattung mußte aber die allgemeine Entwicklung sehr begünstigt und beschleunigt werden, weil es hierdurch möglich war, in großem Umfange die Erfahrungen ganzer Generationen in zusammenfassender Form auf die heranwachsende Jugend zu übertragen, der es oblag, die Weiterentwicklung zu fördern.

Wer in den sechziger und siebziger Jahren die damals erreichten Fortschritte der Technik mit dem verglich, was im Anfang des Jahrhunderts vorhanden war, konnte, besonders wenn er der Technik fernstand, leicht zu der Empfindung kommen, daß es so nicht mehr weiter fortgehen könne, daß der Mensch sich bereits dem Ende der gewaltigen technischen Entwicklung, die so von Grund aus das gesamte Weltbild bereits umgestaltet hatte, nähern müsse. In den Berichten aus der damaligen Zeit können wir oft solche Gedankengänge finden. Da brach dann die Zeit der Elektrotechnik an, die dem neuesten Entwicklungsabschnitt ihr Gepräge gegeben hat.

Jahrhundertelang haben die Gelehrten wissenschaftliche Betrachtungen und grundlegende Versuche auf dem Gebiet der Elektrizität und des Magnetismus angestellt, bis dann in den dreißiger und vierziger Jahren der elektrische Strom in der Telegraphie zuerst eine ungeheure praktische Bedeutung erlangte. Mit Blitzesschnelle gelang es jetzt, menschliche Gedanken über den Erdball zu jagen. Eine große industrielle Entwicklung trat ein, an der sich der preußische Artillerieoffizier Werner Siemens, der der Welt die Dynamomaschine bescheren sollte, eifrigst beteiligte.

Umgestaltend auf das Gebiet der gesamten Technik konnte der elektrische Strom erst einwirken, als es gelang, ihn auf maschinellem Wege in großem Maßstabe zu erzeugen. Auf dem Wege hierzu finden wir eine ganze Anzahl hervorragender Forscher und Ingenieure. Von ungemein weittragender Bedeutung aber war die Entdeckung des dynamoelektrischen Prinzips, die Werner Siemens in seinem berühmten Vortrag vor der Akademie der Wissenschaften am 17. Januar 1867 zum erstenmal der Öffentlichkeit übergab. Weit in die Zukunft schauend, führt hier Siemens schon aus: „Der Technik sind gegenwärtig die Mittel gegeben, elektrische Ströme von unbegrenzter Stärke auf billige und bequeme Weise überall da zu erzeugen, wo Arbeitskraft disponibel ist." Das erste große Anwendungsgebiet für den elektrischen Strom war die elektrische Beleuchtung. Schon mit Hilfe von Tausenden von Elementen hatte Davy seinen erstaunten Zuhörern die Wunder des elektrischen Bogenlichts 1808 vorführen können. Jahrzehntelang hat man sich dann damit beschäftigt, geeignete Bogenlampen zu finden, mühsam und von zahllosen Mißerfolgen begleitet war der Weg, der schließlich doch auch hier zu dauernden Erfolgen führte. Die Bogenlampe allerdings war anfangs ihrer großen Lichteinheiten wegen noch nicht geeignet, ein großes Absatzgebiet für den elektrischen Strom zu geben. Diese Aufgabe erfüllte zuerst das elektrische Glühlicht. Auch die Versuche auf diesem Gebiet reichen schon bis 1838 zurück, wo ein Belgier vorschlug, Kohlen in luftleerem Raume auf elektrischem Wege so zu erhitzen, daß man damit beleuchten könne. Weitere Arbeiten folgten auf diesem Gebiet, doch größere praktische Bedeutung konnten alle diese Vorläufer der elektrischen Glühlichtbeleuchtung noch nicht erlangen. Da trat 1878 die Frage der elektrischen Beleuchtung in den Gesichtskreis von Thomas Alva Edison, „dem Zauberer von Menlopark", wohl einer der volkstümlichsten Erfindertypen aller Zeiten. Er sah die Lösung für die Aufgabe der elektrischen Beleuchtung in der Schaffung einer brauchbaren Glühlampe. Mit Feuereifer ging Edison an die Arbeit, die ihn 1879 zu einem Erfolg führen sollte. Anfangs 1880 traten die neuen Edison-Glühlampen zum erstenmal vor die große Öffentlichkeit. Gleichzeitig wurde auch schon die Anlage elektrischer Zentralstationen geplant. Auf der Internationalen Ausstellung in Paris 1881 konnte die Welt die elektrische Glühlichtbeleuchtung staunend bewundern. Mit der sich immer weiter ausbildenden elektrischen Beleuchtung war ein großes Absatzgebiet für elektrischen Strom geschaffen worden. Die Dynamomaschinen wurden verbessert, eine große Anzahl von elektrischen Apparaten und Einrichtungen entstand.

Der mächtig emporstrebenden elektrischen Industrie aber genügte das Arbeitsgebiet noch nicht. Ihr Ehrgeiz ging dahin, den elektrischen Strom der Energieverteilung in großem Maßstabe nutzbar zu machen. Diese Entwicklung beginnt in den neunziger Jahren die ersten großen Erfolge aufzuweisen. Allerdings hatte Siemens schon 1879 ein großes Anwendungsgebiet erschlossen, als er auf der Berliner Gewerbeausstellung die erste elektrisch betriebene Eisenbahn vorführte und dann 1881 bereits die erste elektrische Bahn der Welt dem dauernden Betrieb übergeben hatte.

Die Zeit der elektrischen Kraftübertragung aber beginnt doch erst mit dem großen Erfolg, den die geschichtlich so überaus denkwürdige Kraftübertragung von Lauffen nach Frankfurt a. M. bei Gelegenheit der Elektro-technischen Ausstellung in Frankfurt a. M. 1891 aufzuweisen hatte, bei der von den 234 PS der Turbine nach der Übertragung in Frankfurt 181 PS abgegeben wurden. Damit war zum erstenmal im Großen praktisch der Nachweis erbracht worden, daß es wirtschaftlich möglich sei, große Kräfte mit Hilfe des elektrischen Stromes auf weite Entfernungen zu übertragen. Eine neue Zeit bricht an, und wir vermögen heute noch nicht, die gewaltigen Folgen dieser technischen Tat abzusehen. Jetzt wurde es möglich, große Zentralen zu errichten, von einer Stelle aus weitverzweigte Anlagen einheitlich mit Energie zu versehen. Vor allem wurde es möglich, Naturkräfte jetzt wirtschaftlich auszunutzen, die ihrer örtlichen Lage wegen früher nicht nutzbar zu verwenden waren. Neben die schwarze Kohle tritt die weiße Kohle, wie man die reichen Energiequellen des strömenden Wassers genannt hat. Damit aber beginnen sich Entwicklungen anzubahnen, die sich in ihren Folgen heute noch gar nicht übersehen lassen. Länder, die bisher aus Mangel an Kohle industriearm waren, beginnen durch ihre reichen Wasserkräfte in hohem Maße in die industrielle Entwicklung mit einzutreten.

Naturgemäß mußte diese Entwicklung der Elektrotechnik in erster Linie auch das große Gebiet des Kraftmaschinenbaues fortschrittlich auf das günstigste beeinflussen. Aus den alten unbeholfenen hölzernen Wasserrädern, wie sie im Anfang des Jahrhunderts noch allgemein üblich waren und die sich auch heute noch in abgelegenen Gegenden in sehr ursprünglichen Formen erhalten haben, entwickelten sich die modernen leistungsfähigen Wasserturbinen, die heute in Einheiten bis 18000 PS schon ausgeführt werden, während man vor wenigen Jahrzehnten noch Turbineneinheiten von 100 PS für besonders bemerkenswert hielt. Maßgebend hat die Elektrotechnik auch die Entwicklung der Dampfmaschine beeinflußt. Auch hier sind die Krafteinheiten ungewöhnlich gestiegen. Ein neuer Abschnitt bahnte sich auf dem Gebiet an durch die Einführung der Dampfturbinen, bei der die hin und her gehende Bewegung ganz beseitigt ist und die zum Antrieb der mit hoher Umdrehungszahl umlaufenden Dynamomaschine bestgeeignete rotierende Bewegung ausschließlich Verwendung findet. Auch hier sind bereits Krafteinheiten von 16000 PS ausgeführt worden, die man noch vor einem Jahrzehnt in weiten Kreisen sicher für unmöglich gehalten hätte.

In den Wettbewerb mit der alten bewährten Dampfmaschine sind dann die Verbrennungskraftmaschinen getreten. Die Gasmaschine, die in den sechziger Jahren des vorigen Jahrhunderts als Kleinkraftmaschine zur Unterstützung des Gewerbetreibenden in seinem Kampfe gegen die Großindustrie geschaffen wurde, hat sich, seitdem es gelungen ist, die Abgase der Hochöfen unmittelbar in Maschinen zur Krafterzeugung zu benutzen, auch zur Großgasmaschine weiterentwickelt. Auch für flüssige Brennstoffe ist es gelungen, in den Petroleum- und Benzinmaschinen und vor allem in der heute zu so großer Bedeutung gelangten Dieselmaschine geeignete Kraftmaschinen zu schaffen.

Besondere Bedeutung sollte gerade die Verbrennungskraftmaschine auf dem Gebiet des Verkehrs erwerben. Als es dem deutschen Ingenieur Daimler 1883 gelang, einen schnellaufenden Explosionsmotor in geeigneter Form mit einem Wagen zu verbinden, war damit die Grundlage des neuzeitigen Automobils geschaffen worden. In Verbindung mit der so bahnbrechenden Erfindung des mit Luft gefüllten Gummireifens durch Dunlop 1890 begannen sich dann die Automobile zu einem sich immer

mehr einführenden Verkehrsmittel unserer Städte und Landstraßen weiter fortzubilden. Welche Veränderung in dem gesamten Verkehrsbilde das Automobil hervorgerufen hat, davon kann jeder sich überzeugen, der den heutigen Zustand mit dem vor wenigen Jahren vergleicht.

Aber der Explosionsmotor, der im Automobil so große Erfolge errungen hatte, sollte es den Menschen unserer Zeit ermöglichen, die Lösung einer technischen Aufgabe erfolgreich anzubahnen, mit der sich schon in sagenumwobenen Zeiten menschliche Wünsche beschäftigt haben. Die staunenerregenden Erfolge auf dem Gebiet der Luftschiffahrt und der Flugmaschine sind auf die Leistungen der Maschinentechnik mit in erster Linie zurückzuführen.

Welche Stellung die Technik heute, am Anfang des 20. Jahrhunderts, in der Welt einnimmt, welch mannigfach verschiedene Aufgaben sie in den Kreis ihres Arbeitsgebiets einbezogen hat, und in welcher Weise sie diese Aufgaben löst, werden die folgenden Ausführungen zu zeigen haben.

So groß auch die Erfolge der Technik heute sind, unauflöslich stehen die großen Leistungen unserer Tage mit ihren Wurzeln auf der nicht minder großen Vergangenheit. Und wenn wir das jetzt Erreichte mit Recht staunend bewundern, sollen wir dankbar auch all der großen von uns gegangenen Bahnbrecher gedenken, die in harter Lebensarbeit die Grundlagen zu dem gewaltigen Bau der heutigen Technik geschaffen haben.

ABSCHNITT I

DIE MATERIALIEN DER TECHNIK UND IHRE GEWINNUNG

VORKOMMEN UND GEWINNUNG VON KOHLE UND TORF

VON A. MACCO

1. DIE AUFSPEICHERUNG DER SONNENWÄRME IN DEN FOSSILEN BRENNSTOFFEN

Unsere energisch vorwärts schreitende Technik hat der Wissenschaft ein ganz neuartiges Rüstzeug gegeben und sie damit befähigt, manchen Auffassungen, die bisher mehr oder weniger als Spekulationen gelten mußten, Halt und Stütze zu geben, sie in wohlbegründete Theorien zu wandeln. So haben diese Fortschritte auch die Kant- und Laplacesche Anschauung von der Entstehung unseres Weltkörpers, der Erde, nur immer mehr befestigt. Stetig wächst uns der Glaube daran, daß unser Erdball sich voreinst von der glutflüssigen Masse der Sonne losgelöst und als ein heißer Gasball seinen eigenen Weg gesucht hat. Der kalte Weltenraum nahm den kühnen Flieger auf. Er zehrte an dem Wärmevorrat, den ihm die Sonnenmutter mit auf den Pfad gegeben hatte, kühlte die Erde allmählich immer mehr ab: eine feste Kruste umzog endlich den noch heißen Kern und verschloß sorgsam darunter, was dem Planeten von dem ihm in seiner Geburtsstunde gewordenen Wärmeschatz verblieben war.

Aber der Sonnenmutter Auge wachte ständig über ihm, und was sie durch den Himmelsraum hindurch ihm zukommen lassen konnte, das sandte sie ihm: mächtige Garben blendender Lichtwellen und wärmender Strahlen schüttete sie nach ihm hin, auf daß er auffange davon und noch nicht so bald zu kalter, toter Masse erstarre. Unter ihrer wärmenden Fürsorge schlossen sich an der Erdoberfläche Stoffteilchen zu neuen Gebilden zusammen, saugten sich voll mit der Sonnenwärme, so daß sie in ihnen erzitterte zu neuartigem Leben: Pflanze und Tier kamen zur Entwicklung und zu reichem Gedeihen.

Folgt auf das Werden auch Vergehen, so verfliegt aus dem absterbenden Pflanzen- und Tierorganismus die Sonnenkraft doch nur scheinbar. Umgesetzt in chemische Kräfte, wirkt sie fort und fort. Von dem Körperlichen, das durch Sonnenkraft aufgewachsen ist und die Erde belebt, bleibt allerdings wenig erhalten: am meisten noch von der Pflanzenwelt. In den Mooren versunken, zu Kohlenlagern umgebildet, schlummert immerhin ein beträchtlicher Teil dessen, was in grauer Vorzeit die Erde belebte. Wie diese versunkene Pflanzenwelt im wahrsten Sinne des Wortes die Sonnenwärme aufgespeichert hat, das wird uns so recht klar durch den Gebrauch, den wir Menschen von den uns erhalten gebliebenen pflanzlichen Überresten früherer Epochen machen: nutzen wir sie doch vornehmlich als Brennstoffe, um Wärme zu entwickeln, eben die Urkraft, der sie selbst ihr Dasein verdanken. In den Äonen, welche die Erde besteht, sind ungeheure Wärmemengen von der Sonne zur Erde gelangt. In jeder Sekunde sollen uns allein 3800 Millionen Pferdekräfte davon zukommen! Nur ein winziger Teil ist in den Torf- und Kohlenlagern der Erde aufgespeichert und doch genug für unser Geschlecht sowie noch manches nach uns lebende, um uns solche Ergänzung der noch heute von der Sonne herabstrahlenden Wärme zu erlauben, wie sie nötig ist, damit wir gedeihen, uns vermehren und fortbilden können.

Auf diesem Naturschatze beruht das Wirtschaftsleben eines großen Teils der derzeitigen Menschheit. Aber immer neue Völkerschaften verlangen an seiner Nutznießung teilzunehmen. Wie lange wird es währen, bis der Kräftevorrat, den die gütige Mutter Natur uns in den Produkten der Kohlebildung aufgespeichert hat, aufgezehrt ist?

Eine kleine Spanne Zeit noch — einige Jahrhunderte, vielleicht auch tausend Jahre und etwas mehr —, dann wird die Quelle versiegt und alles das aufgebraucht sein, was in weit, weit zurückliegenden Zeiten als Sonnenwärme zu uns kam und festgehalten wurde in den uns erhalten gebliebenen brennbaren organischen Resten jener Epochen.

Schon sehen wir das Ende voraus: da heißt es denn doppelt sorgsam haushalten und recht viel herauswirtschaften aus dem einzigartigen Naturschatz. Täglich bessert die Technik uns die Hilfsmittel dafür. Wie weit wir damit heute gediehen sind, wie wir heute die fossilen Brennstoffe heben und nützen, soll uns der erste Teil dieses Buches lehren. Zum Eingang aber wollen wir uns klarmachen, wie sie entstanden sind; davon müssen wir ein Bild haben, wenn wir die Technik ihrer Gewinnung gut verstehen und recht würdigen wollen.

2. DIE BILDUNG VON TORF UND KOHLE

Die uns zugänglichen Teile der festen Erdkruste bestehen zum größten Teil aus Gesteinen in dünneren und dickeren Lagen, welche Schicht auf Schicht, wie die einzelnen Papierblätter eines Buches, aufeinanderliegen. Das sind die Schicht- oder Sedimentgesteine: in der Hauptsache gebildet durch den langsamen Absatz (Sedimentation) verschiedenartigen Materials in Wasser, vorwiegend auf dem Meeresboden.

Zwischen den noch lockeren wie den festgewordenen Schichtgesteinen verschiedensten geologischen Alters finden wir Kohle: im geologischen Altertum und Mittelalter in weit ausgebreiteten Lagen — den Flözen — als Steinkohle, zwischen neuzeitlichen, meist losen Massen in vielfach mächtigen Ansammlungen als Braunkohle.

Suchen wir durch die über einem Steinkohlenflöz liegenden Gesteinsschichten zu einem solchen zu gelangen, so fallen uns, je mehr wir uns dem Flöze nähern, an den Gesteinsbrocken, die wir gelöst haben, schwarzgraue Gebilde auf, welche zum Teil wie Blätter und Zweige von Pflanzen anmuten, vielfach unwillkürlich an Farnwedel erinnern (Abbildung 1); zum anderen Teile sehen sie wohl auch aus wie plattgedrückte Äste oder dünne Stämme. — Der Geologe bestätigt uns, daß wir auf der richtigen Fährte sind und daß regelmäßig die Schichtgesteine, welche Steinkohlenflöze einschließen, eine Fülle von Pflanzenresten jeglicher Art bergen. Er sagt uns auch, daß gelegentlich — allerdings als Seltenheit — an Steinkohlenstücken selbst die pflanzliche Struktur mit bloßem Auge noch deutlich zu sehen ist. Mikroskopische Vergrößerung endlich läßt gar keinen Zweifel darüber, daß pflanzliches Material einen Grundstoff zur Kohlenbildung geliefert hat.

Die jüngere Kohle, die Braunkohle, enthält so viele ausgesprochen holzige Teile und birgt in so großer Fülle die noch wohlerhaltenen Stümpfe alter, mächtiger Bäume, daß uns hier eine eindrucksvolle Bestätigung für die gewonnene Ansicht wird (Abbildung 2).

Wir dürfen somit als feststehend betrachten, daß Ansammlungen pflanzlichen Materials eine Grundlage für die Entstehung von Kohle gebildet haben.

Der größte Teil dieser Ansammlungen hat ursprünglich offenbar Moore gebildet. Während die abgestorbenen Teile von Pflanzen und Tieren verwesen und völlig ver-



Abbildung 1. Pflanzenreste aus der Steinkohlenzeit (Odondopteris Coemansi).



Abbildung 2. Baumstümpfe im Braunkohlenlager von Grube Ilse (Niederlausitz).

gehen, wenn sie an der Erdoberfläche liegen bleiben, findet eine teilweise Erhaltung der Substanz statt, wenn der Sauerstoff der Luft am Zutritt zu den abgestorbenen organischen Resten gehindert wird. Stillstehendes Wasser bildet schon einen hinreichenden Abschluß gegen die Luft für die in solchem Gewässer versunkenen organischen Reste.

Die grünliche, schmierige Haut, welche winzig kleine pflanzliche und tierische Organismen auf stehenden Wassern bilden, sinkt nach deren Absterben zu Boden und bildet dort Anhäufungen eines zähen, fauligen Schlammes, von sogenanntem Faulschlamm (Sapropel) (Abbildung 3).

Am Rande faulschlammerfüllter Seen siedelt sich Röhricht und wächst allmählich nach dem Seeinnern hin zu einem immer breiter werdenden Gürtel an. Es verfestigt den Uferrand und gestattet auch schweren Gewächsen nach und nach die Ansiedlung: Erlen, Birken, Kiefern finden sich in dem feuchten Gelände ein (Zwischenmoor). Ihre absterbenden Teile werden in nasser Niederung immer wieder von fauligem Wasser bedeckt, darin begraben und so vor der Verwesung geschützt. So füllt sich allmählich die Senke des Niederungsmoores, Verlandung tritt ein. Die Vegetation verkümmert, Moose überwiegen nach und nach immer mehr: mit ihren wasserfangenden Organen sammeln sie Feuchtigkeit im Hochmoor an und gewähren durch diese Vernässung den unter ihnen ruhenden organischen Resten von neuem eine schützende Decke (Abbildungen 4, 5, 6, 7).

Aus dem Faulschlamm bildet sich ein schwarzes festes, mattglänzendes Faulschlammgestein (Sapropelit), das leicht entzündlich ist. Die pflanzlichen Reste verwandeln sich dagegen bei der unvollkommenen Zersetzung unter Wasser in Humus, eine weniger harte, mehr filzige, krümelige Masse von brauner bis schwarzer Farbe. Völlige oder teilweise Überschwemmungen der Moore begünstigen neue Faulschlammbildungen, so daß Lagen von Humus und Faulschlamm mannigfach miteinander wechseln können.

Beide Bestandteile der Moore verhalten sich bei der unvollkommenen Zersetzung, der sie unter Wasser unterliegen, verschieden. Im Faulschlamm nehmen chemische Veränderungen auch dann noch ihren Fortgang, wenn durch das darüber stagnierende Wasser und die darin sich vollziehende Humusbildung die Sauerstoffzufuhr völlig abgeschnitten ist: seine Bestandteile zersetzen sich untereinander noch weiter. Dabei entwickelt er reichlich Kohlensäure und Grubengas (Methan). Sein eigener Sauerstoffgehalt wird nahezu völlig verzehrt, sein Wasserstoffgehalt dagegen bleibt dem ursprünglichen fast gleich. Die ihm verbleibenden Wasserstoffverbindungen — Bitumen genannt — sind für das Faulschlammaterial charakteristisch. Das Mikroskop gestattet eine leichte Unterscheidung zwischen Faulschlammaterial und Humussubstanz selbst noch in der Steinkohle. Glanzkohle erweist sich regelmäßig als Humusbildung, dagegen die härtere, gasreichere Mattkohle stets als vorwiegend aus Faulschlamm entstanden. Also auch in den geologisch weit zurückliegenden Zeiten, in denen die Steinkohle sich zu bilden begann, haben die Grundstoffe der Steinkohlenbildung sich offenbar im wesentlichen genau in der gleichen Weise zusammengehäuft, wie wir es heutzutage in der Moorbildung vor unseren Augen geschehen sehen.

Moore sind Festlandsbildungen. Daher haben auch die Urstoffe für die Kohlenbildung sich auf Festländern angesammelt. Wenn in kohlenführenden Schichten trotzdem öfters Versteinerungen von Meerestieren gefunden werden, so spricht das für eine Lage des früheren Moores in der Nähe des Meeres, für ein gelegentliches Hineinfluten des nahen Meeres in das Moor.

Die meisten unserer heutigen deutschen Moore sind zumeist schon bis zum Stadium des Hochmoors vorgeschritten. Der Beginn ihrer Entwicklung liegt in vorhistorischer Zeit. In dieser so weit zurückliegenden Epoche lagen die Grundbedingungen vor, welche gerade in den heutigen Moorgegenden mehr oder weniger stagnierende Wasseransammlungen entstehen ließen. In Deutschland verliefen sich damals aus



Abbildung 3. Faulschlammdecke nach Prof. Potonié.

der norddeutschen Tiefebene einerseits und von der oberbayrischen Hochebene herab anderseits die gewaltigen Schmelzwasser der Eiszeit und ließen auf diesen großen Flächen zahllose Becken und Tümpel wassererfüllt zurück. Wassererfüllte Niederungen

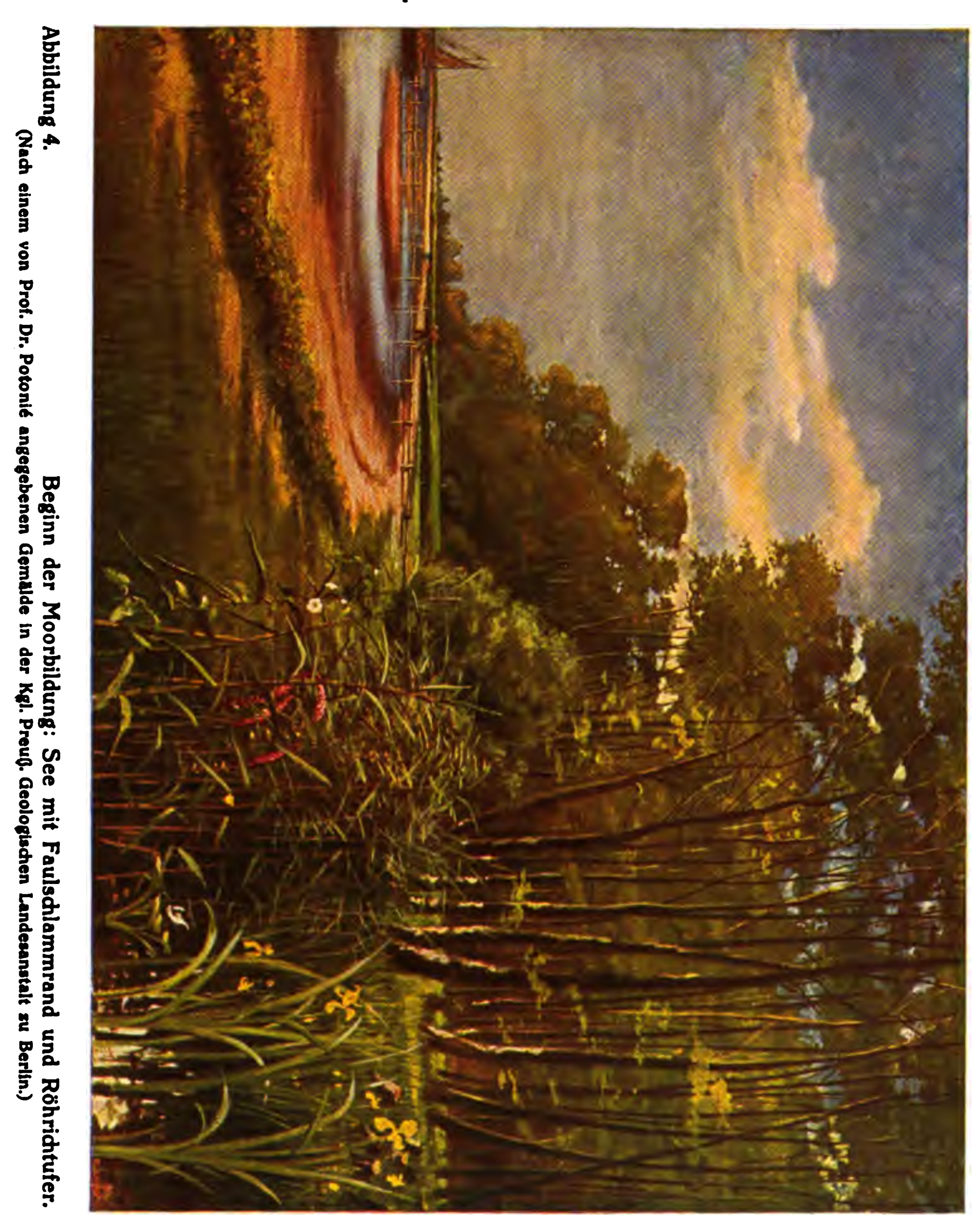


Abbildung 4. Beginn der Moorbildung: See mit Faulschlammrand und Röhrichtufer.
(Nach einem von Prof. Dr. Potonié angegebenen Gemälde in der Kgl. Preuß. Geologischen Landesanstalt zu Berlin.)

müssen in ausgiebiger Weise auch in der Tertiärzeit, die der Eiszeit voranging, und in der noch viel weiter zurückliegenden Karbonperiode vorhanden gewesen sein, in der die Urstoffe unserer meisten Steinkohlenflöze sich sammelten.

Das Aufsteigen neuer Kontinente aus dem Meere und das Herausmodellieren enormer Gebirgsmassen zur Tertiär- und zur Karbonzeit hat offenbar die Bedingungen,

unter denen Kohlenbildung eintreten kann, begünstigt. Leicht erklärt sich aus diesen großartigen Ursachen das Auftreten zahlreicher Seebecken als Überbleibsel des Meeres, die Überflutung der darin vor sich gehenden Moorbildungen durch Gesteinsmaterial,



Abbildung 5. Zwischenmoor mit Erlen-, Birken- und Kiefernbestand.
(Nach einem von Prof. Dr. Potonié angegebenen Gemälde in der Kgl. Preuß. Geologischen Landesanstalt zu Berlin.)

das in Zeiten starker Niederschläge massenhaft von den Hängen der Gebirge herabgetragen und den Seebecken zugeführt wurde.

Schwierig bleibt nur die Frage: Wie läßt es sich erklären, daß den Perioden der Überflutung mit gesteinsbildenden Materialien an den gleichen Stellen immer wieder von neuem solche der „Vernässung“ und damit der Kohlenbildung offenbar durch

viele Jahrtausende hindurch folgten, daß die Neigung zur Kohlenbildung sowohl in der Karbon- wie in der Tertiärzeit gerade in den Gegenden, wo diese einmal eingesetzt hatte, so unendlich lange Zeiträume hindurch bestehen blieb? Höchstwahr-



Abbildung 6. Niederungsmoor im letzten Stadium der Entwicklung.
(Nach einem von Prof. Dr. Potonié angegebenen Gemälde in der Kgl. Preuß. Geologischen Landesanstalt zu Berlin.)

scheinlich ist dies klimatischen Eigentümlichkeiten zu danken. In dem Niederungsvorlande zu Füßen der mächtigen Hochgebirge hat offenbar ein feucht-heißes Klima geherrscht. Dessen Beständigkeit findet in der Lage der Kohlenbildungsplätze gerade im Vorlande der Hochgebirge seine ungezwungene Erklärung.

Daß in den älteren geologischen Epochen an den Kohlenbildungsstätten auch allgemein ein heißeres Klima geherrscht haben muß als in unseren Breiten, geht aus den ermittelten Pflanzenarten deutlich hervor: diese alten Moore scheinen danach zu-



Abbildung 7. Hochmoor.
(Nach einem von Prof. Dr. Potonié angegebenen Gemälde in der Kgl. Preuß. Geologischen Landesanstalt zu Berlin.)

meist in einem ausgesprochen tropischen Klima zustande gekommen zu sein. Daher dürfen wir auch eine sehr viel größere Üppigkeit des Pflanzenwuchses (Abbildung 8) und eine sehr viel beträchtlichere Neigung zur Faulschlammbildung annehmen, als in den heute wesentlich in gemäßigten Breiten in der Entwicklung begriffenen Mooren zu

beobachten ist. Durch diese Annahme schrumpft auch die Bildungsdauer der einzelnen Moorlagen, die später zu den Kohlenflözen und Kohlenlagern zusammengedrückt wurden, in unserer Vorstellung etwas zusammen; wenn auch der Zeitraum noch ein gewaltig großer bleibt, so vollzog sich unter den damaligen klimatischen Verhältnissen die Entwicklung doch jedenfalls schneller als bei der heute vor unseren Augen sich abspielenden Moorbildung.

In der Karbonperiode müssen die einzelnen Moore zumeist eine außerordentliche Ausdehnung auf nur wenig welligem Boden gehabt haben, denn die Kohlenbildungen dieser Epoche treten uns in verhältnismäßig schwachen, ebenflächigen Lagen von zwar meist nur 1—2 m Dicke, aber sehr großer flächenhafter Erstreckung — den Steinkohlenflözen — entgegen. Die Moore, welche zur Bildung dieser Kohlenflöze geführt haben, dürften vielleicht achtmal so dick wie die heute vor uns liegenden Steinkohlenflöze gewesen sein. Weniger eben scheint in der zweiten Hauptkohlenbildungszeit, der Tertiärperiode, der Untergrund gewesen zu sein, auf dem die Moore gediehen. Die einzelnen Moore scheinen damals nicht zu so riesenhaften Ausdehnungen gekommen zu sein wie zur Karbonzeit. Dies dürfte ein Grund dafür sein, daß uns die Tertiärkohlen weniger in gleichmäßig dicken, weit durchgehenden Lagen — Flözen — entgegentreten, als vielmehr häufiger in unregelmäßigerer Stärke und verhältnismäßig engumgrenzten Lappen: mehr als Lager von relativ geringer Fläche bei großer Dicke.

An den Kohlenflözen und Kohlenlagern kann man fast immer eine Absonderung einzelner Kohlenschichten beobachten: verursacht durch den Wechsel im Bildungsmaterial. Faulschlamm schuf mattglänzende harte Lagen zwischen den stark glänzenden weicheren „Bänken“ humöser Herkunft. Solche Kohle mit abwechselnd matten und glänzenden Streifen heißt daher Streifenkohle.

Aber zwischen diesen Kohlenlagen verschiedenen Urstoffes in ein und demselben Flöz liegen in der Regel auch mehr oder weniger dünne Schmitze von Gesteinen, bei jüngeren Kohlen meist Ton, bei älteren Tonschiefer, aber auch wohl sandige Zwischenlagen, Sand und Sandstein, sogen. „Berge“. Solche Einlagerungen — Zwischenmittel — fehlen kaum je einem Steinkohlenflöz. Oft treten mehrere in Zwischenräumen übereinander auf (Abbildung 9). Selten haben die einzelnen Zwischenmittel indessen eine beträchtliche flächenhafte Erstreckung: sie keilen sich vielmehr leicht aus, oder auch mehrere schließen sich zu einem einzigen zusammen; handelt es sich bei diesen Einlagerungen doch um nichts anderes, als um



Abbildung 8. Vegetationsbild der Steinkohlenzeit.
(Nach einem von Prof. Potonié angegebenen Gemälde im Deutschen Museum, München.)



Abbildung 9. Steinkohlenflöz mit Zwischenmitteln.

die Absätze von Gesteinsmaterial, welches bei der Überflutung von Moorteilen in das Moor hineingetragen worden ist. Diese Überflutungen scheinen in der Tertiärzeit einen stärker lokalen Charakter gehabt zu haben und hatten besonders in dieser Zeit auch häufig kräftige Auswaschungen und Zerstörungen von Moorteilen im Gefolge. Davon ist im allgemeinen in den Steinkohlenflözen weniger zu bemerken.

Die senkrechte Entfernung zwischen der Auflagefläche eines Flözes (dem „Liegenden“) und seiner oberen Begrenzungsfläche (dem Dach, oder „Hangenden“) wird die Mächtigkeit des Flözes genannt. Von dem wirtschaftlichen Wert eines Kohlenflözes kann man aber nur dadurch einen Begriff geben, daß man — abgesehen von der Kohlenqualität — neben der Mächtigkeit des Flözes auch mitteilt, wie stark die Gesamtdicke der durch die Gesteinszwischenmittel im Flöz getrennten „Kohlenpacken“ ist.

Unter den überlagernden Gesteinsschichten und unter den Zwischenmitteln der Kohlenflöze und Kohlenlager ist die Umwandlung der Bildungsstoffe, des Faulschlamms und des Humus, ununterbrochen fortgeschritten. Der Gang, den die chemische Entwicklung dabei genommen hat, wird uns dadurch verdeutlicht, daß wir in den Tertiärkohlen noch viel Kohlensäure, aber wenig Kohlenwasserstoffgase, in den Karbonkohlen dagegen keine Kohlensäure mehr, aber reichlich Kohlenwasserstoffe vorfinden. Die ältesten Kohlen sollten überdies nach rein theoretischen Uberlegungen die gasärmsten sein, und sie sind es vielfach auch tatsächlich.

Allerdings haben noch andere Faktoren als lediglich die Zeit einen gewichtigen Einfluß auf die chemische Umwandlung und die Herausbildung bestimmter Kohlencharaktere gehabt. In erster Linie müssen wir hier an die gewaltige Mitwirkung der Druck- und Schubkräfte denken, welche beim Schrumpfen der Erdkruste erzeugt worden sind und die Erdrinde samt den Kohlenflözen und Kohlenlagern zusammengedrückt, verbogen, gefaltet, zerbrochen und die Bruchstücke verschoben haben. Gewaltiger Druck und die dadurch hervorgerufene Wärme haben sowohl mechanisch zusammenpressend wie chemisch umsetzend auf die Kohle gewirkt. Die Entwicklung läßt sich am besten dadurch kennzeichnen, daß man die Kohlen der Tertiärzeit als ein Zwischenglied ansieht zwischen den lockeren braunen Torfmassen historischer sowie diluvialer Zeit und den festen schwarzen Kohlen der Karbonzeit, den Steinkohlen. Die meisten Tertiärkohlen haben die braune Farbe noch mit dem Torf gemeinsam, zeigen aber doch schon ein wesentlich dichteres Gefüge als dieser. Ihrer Farbe wegen werden sie als Braunkohlen bezeichnet. Der Kohlenstoffgehalt ist in der Braunkohle bereits ein wesentlich höherer als im Torf, steigt aber noch in der Steinkohle. Dagegen läßt gleichzeitig der Gehalt an Wasserstoff, vor allem aber an Sauerstoff in der Braunkohle gegenüber demjenigen im Torf nach und wird noch geringer in der Steinkohle. So wird auch durch die chemische Zusammensetzung bestätigt, daß die Braunkohlen

eine mittlere Stufe und die Steinkohlen eine noch höhere Stufe der Kohlenbildung darstellen.

Wenn diese Unterscheidung nach einer Äußerlichkeit — der Farbe — zwischen Braunkohlen und Steinkohlen, als den jüngeren (tertiären) und den älteren (meist karbonischen) Kohlen, sich auch eingebürgert hat, so bleibt doch zu beachten, daß sowohl einzelne Kohlen tertiären Alters dicht, fest und pechschwarz sind, also ganz Steinkohlencharakter haben (Oberbayern, Spitzbergen, Ungarn) und anderseits, aus der Karbonzeit einige — wenn auch wenige — Kohlenvorkommen (Moskauer Becken) bekannt sind, die noch ganz ein braunkohlenartiges Aussehen bewahrt haben, dabei weich und locker geblieben sind.

Die tertiären Kohlen — seien es die normalen Braunkohlen oder auch außergewöhnlich feste, schwarze Tertiärkohlen — geben stets, wenn man sie auf einer rauhen weißen Unterlage, am besten einer unglasierten Porzellanplatte (Strichtafel) reibt, einen braunen Strich. Von den Steinkohlen hinterlassen dagegen die gewöhnlichen festen, schwarzen Varietäten einen grauen Strich, die seltenen locker und braun gebliebenen Arten allerdings auch einen braunen Strich. Da diese letzteren aber sehr selten sind, so genügt im allgemeinen die Strichprobe zur Unterscheidung. In Zweifelsfällen hilft nur eine genauere chemische Untersuchung. Hierbei ist u. a. entscheidend, daß das Destillat von jüngerer (tertiärer) Kohle immer sauer ist, dasjenige von echter Steinkohle stets basisch reagiert.

Diese chemischen Eigentümlichkeiten, nach denen man jüngere und ältere Kohlen unterscheiden kann — ganz gleichgültig, ob die jüngeren schon verhältnismäßig weit oder die älteren noch relativ rückständig in ihrer Entwicklung geblieben sind —, sind Ausflüsse der Entwicklung, welche die Pflanzenwelt im Laufe der Äonen auf der Erdoberfläche genommen hat. Es sei nur darauf hingewiesen, daß die Pflanzen der älteren Perioden noch keine Harzabsonderungsorgane hatten, diese sich vielmehr erst bei den Pflanzen der jüngeren Epochen langsam eingestellt haben. Allein schon durch ihren Harzgehalt unterscheidet sich daher die Pflanzenwelt der Tertiärzeit scharf von derjenigen der Karbonzeit. Zu den Gefäßkryptogamen (Schachtelhalme, Bärlappe und Farne), die in der Karbonzeit üppiger als je später gediehen (Abbildung 8), treten in der geologischen Neuzeit (Tertiär, Diluvium) Palmen und andere Angiospermen, nachdem die in der Karbonzeit noch wenig verbreiteten Koniferen und Zykadeen im geologischen Mittelalter (Trias Jura, Kreide) den Höhepunkt ihrer Entwicklung überschritten hatten.

Auf der Sumpfoberfläche schwimmende Zweige und Blätter sind vielfach mit feinem Tonschlamm untergesunken und darin auf das vorzüglichste erhalten geblieben (Abbildung 1). Äste, die auf dem Wasser trieben, sind gleichfalls massenhaft in Gesteinsmaterial bei Überschwemmungen der Moore mit den dabei umgerissenen schwächeren Baumstämmen eingebettet und mehr oder weniger zusammengedrückt worden. Stärkere Baumstämme blieben stehen, wurden manchenorts allmählich von Gesteinsmaterial umschlossen; nach und nach verhärtete dies um die Rinde herum und bildete eine Form, in die nach dem Absterben der Bäume sich jüngeres Gesteinsmaterial ergoß, darin erstarrte und nun als Kern einen Abguß von den Oberflächenformen des Baumstammes lieferte.

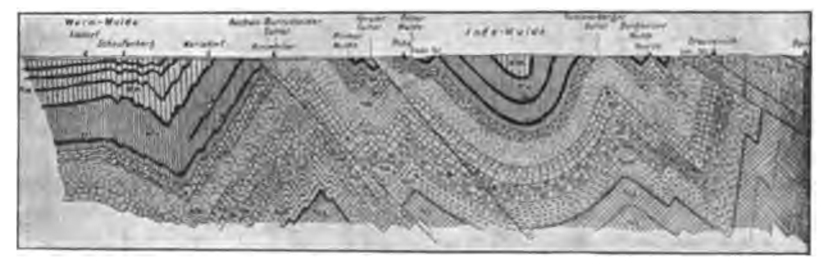
Die aufrechte Stellung dieser versteinerten Bäume der Karbonzeit wie der in ihrem Holzwerk vielerorts noch ausgezeichnet erhaltenen Baumriesen tertiären Alters (Abbildung 2), zudem das häufig an ihrem Fußende noch wohlkonservierte und eine horizontale Ausbreitung zeigende Wurzelwerk bestätigen aufs beste, daß die ursprüng-

liche Kohlenbildung in der Hauptsache ebendaselbst erfolgte, wo die kohlenbildenden Organismen gelebt haben, und daß die Behauptung der „autochthonen“, d. h. an Ort und Stelle erfolgten Entstehung der allermeisten Kohlenvorkommen zu Recht besteht.

Wohl aber hat die Natur gelegentlich an Mooren und an den in der weiteren Kohlenbildung begriffenen organischen Anhäufungen heftige Zerstörungen vorgenommen. Das auseinandergerissene und durcheinandergewühlte Material wurde durch Wasser fortgeschwemmt und dann von neuem an zweiter Stelle abgelagert. Es ist klar, daß solche auf „sekundärer Lagerstätte“ liegenden Gebilde nicht den gleichen gesetzmäßigen Schichtenaufbau aufweisen können wie die originale „primäre“ Ablagerung, vielmehr ein regelloses Durcheinander aller Grundstoffe der Kohlenbildung darstellen. An nachträgliche Umarbeitung und Neuablagerung (allochthone Bildung) von vordem bereits an anderer Stelle abgelagert gewesenem Kohlenbildungsmaterial hat man in erster Linie zu denken, wenn eine Kohlenablagerung dem systematischen Aufbau eines Moores nicht entspricht.

Sehen wir in den heutigen Mooren die kohlebildenden Stoffe sich in einzelnen annähernd horizontalen Lagen übereinander ablagern, so finden wir im Gegensatz dazu die fertigen Kohlenflöze und Kohlenlager zumeist in mehr oder weniger stark geneigter Lagerung. Mitsamt den über und unter ihnen liegenden, gleichfalls meist sedimentären Gesteinsschichten sind sie den vielfältigen Störungen unterworfen gewesen, welche die feste Erdkruste betroffen haben (Abbildungen 10 u. 16). Entlang den unendlich vielen, dem geologisch nicht geschulten Auge verborgen bleibenden Rissen, welche die Erdkruste durchziehen, haben sich deren dazwischenliegende Stücke kräftig gegeneinander verschoben, gleichwie es die Schollen einer zerbrechenden Eisdecke tun. An den hochgehobenen Schollen nagten die zerstörenden Naturkräfte — Verwitterung, Wasser, Eis und Wind — und vernichteten dabei auch manche hochgehobenen Stücke von Kohlenflözen. Gaben die Gesteinsschichten Schubkräften von vorwiegend horizontaler Richtung plastisch nach, so schoben sie sich zu Falten zusammen, wie die Blätter mehrerer übereinandergelegter Papierlagen es tun, wenn man sie von zwei Seiten preßt. Zu Sätteln und Mulden wurden die ursprünglich horizontal abgelagerten Sedimente dadurch zusammengestaucht.

Wiederum waren es naturgemäß die am höchsten herausgehobenen Flözteile, die „Sattelköpfe“, welche an der Erdoberfläche der Abtragung am ersten zum Opfer fielen. Diese hochragendsten Partien, die Sättel, sind häufig so gründlich abgefressen, daß sie vielerorts gar nicht mehr zu erkennen sind und nur noch die ehedem zu beiden Seiten des Sattels angelagerten Mulden in Erscheinung treten (Abbildung 10). Deswegen eben finden wir heute die Kohlenflöze und Kohlenlager so häufig lediglich in Mulden.



Abbild. 10. Querschnitt durch das Aachener Steinkohlengebiet (nach Holzapfel).

3. VORKOMMEN, GEWINNUNG UND VERARBEITUNG VON TORF

In den Ländern der gemäßigten Breiten auf der nördlichen Halbkugel unseres Erdkörpers (Europa, Nordasien, Nordamerika) sind Moore weit verbreitet: in Rußland, Skandinavien, Irland und Holland nehmen sie ebenso meilenweite Flächen ein wie im norddeutschen Flachland. Die beim Rückzuge des Inlandeises der Diluvialzeit verbliebenen zahllosen und ausgedehnten Wasserbecken schufen eben hier, wie schon erwähnt, ausgezeichnete Vorbedingungen für die Moorbildung. Von norddeutschen Landstrichen sind Ostfriesland, Oldenburg, Hannover, Brandenburg, Pommern, Ost- und Westpreußen besonders reich an Mooren. Zwar haben auch Baden, Württemberg, Bayern und Österreich-Ungarn große Moore, aber deren Verbreitung steht hier doch gegen den Norden zurück. Nur wenige Moore finden wir in den südeuropäischen Ländern Italien, Frankreich, Spanien.

Den auf dem Boden der Moorbecken zur Ablagerung gekommenen Faulschlamm finden wir als unterste Bildung in den meisten Mooren in Gestalt einer in der Verfestigung begriffenen schwarzen Masse, der sogenannten Torfleber. Nach der oben dargelegten Entstehungsweise der Moore ist es nur natürlich, daß wir darüber in deren tieferen Lagen den dichteren, zu oberst den lockersten Torf finden. Speck- oder Pechtorf von braunschwarzer Farbe und dunkler wachsglänzender Schnittfläche ist am reichsten an Kohlenstoff und daher von höchstem Brennwert. Die mittleren Lagen enthalten weniger wertvollen, aber doch schon tiefbraun gewordenen Sumpf-, Moll- oder Schlieftorf, auch Modertorf genannt, mit eben noch erkennbaren Pflanzenresten. In dem zu oberst liegenden Moos- oder Fasertorf sind die Pflanzenreste noch gut erhalten und bilden eine lockere, leicht entzündbare und mit geringer Hitzeentwicklung schnell wegbrennende Masse.

Wenn Torfmoore so verfestigt sind, daß der Mensch sie betreten kann, so führt der Torf immer noch viel Wasser: etwa 80—90%. Nur nach Entfernung des größten Teils dieses Wassergehalts läßt sich Torf verwerten. Zu Brenntorf kann nur Torf mit mäßigem Aschengehalt gebraucht werden: bei weniger als 5% ist er als aschenarm, bei 5—10% als von mittlerem Aschengehalt und darüber als aschenreich anzusprechen. Bei mehr als 25% hört in der Regel die Verwendbarkeit als Brenntorf auf. Für die Benutzung als Streutorf ist das Aufsaugevermögen von Bedeutung, und dieses hängt wiederum ab von dem Gehalt an langfaserigen Bestandteilen. Es ist daher im allgemeinen bei den geologisch jüngsten Bildungen, denjenigen der Hochmoore, am höchsten.

Der Wassergehalt des Torfs kann durch systematische Entwässerung des Torflagers um 5—10% vermindert werden. Diese gering erscheinende Abtrocknung ist schon deswegen wirtschaftlich bedeutungsvoll, weil durch sie das Maß der Arbeit nicht unwesentlich herabgesetzt wird, das mit der Hebung der gelösten Torfstücke verbunden ist. Sie wird durch planmäßige Anlage eines Netzes von Gräben in dem Torflager erzielt, denen entweder ein natürlicher Abfluß gegeben werden kann oder das Wasser durch Pumpwerke entzogen wird.

Nach hinreichender Entwässerung wird der Torf in den festen Lagen des Moores „gestochen", meist durch Handarbeit in gleichmäßig großen, handlichen Stücken, sogenannten Torfsoden (Abbildung 11). Ein Ersatz der Handarbeit durch Torfstechmaschinen kann bei Großbetrieb nicht nur die Gewinnungskosten reduzieren, sondern erlaubt auch eine Torfgewinnung in noch nassen Mooren unter Wasser. Aber auch der auf solche Weise gewonnene Torf wird als Handtorf bezeichnet. Der Handtorf wird zur Trocknung in lockeren Stapeln derart zusammengesetzt, daß die Luft bequem

durch den Stapel hindurchstreichen und den Torfsoden ihre Feuchtigkeit nehmen kann. Um der Luft bequemen Zutritt zu den Torfsoden zu geben, werden sie manchenorts auch auf spitze Stangen aufgespießt oder auf Holzgestellen ausgelegt. Diese Lufttrocknerei hat deswegen ihre Schwierigkeiten, weil der Torf bei atmosphärischen Niederschlägen wieder Feuchtigkeit aus der Luft aufnimmt und die befriedigende Abtrocknung sich dadurch verzögert. Nur sehr langsam gelingt es daher, den Torf auf diese Weise bestenfalls auf 15—20 % Wasser herunterzubringen; ganz leichter Handtorf bleibt womöglich bei 25 % Wasser stehen. Überdies hindern die groben und langen Fasern des Handtorfs ein Schrumpfen des Torfs, so daß er in der Raumeinheit wegen seines lockeren Gefüges erst recht nur eine geringe Brennkraft hat. Endlich bröckelt er so leicht ab, daß seine Versandfähigkeit auch dadurch beeinträchtigt wird.



Abbildung 11. Torfgewinnung im Selzthal (Steiermark).
(Nach Aufnahme des Deutsch-Österreichischen Moorvereins.)

Um zu einer wettbewerbsfähigen Ware zu kommen, muß der Torf zerkleinert, müssen die zerkleinerten Teile gehörig durchgearbeitet und geknetet und alsdann zu Stücken geformt werden. Die Zerkleinerung geschieht in senkrechtstehenden oder wagerechtliegenden Röhren in der Hauptsache durch eine darin sich drehende messerscharfe Stahlschnecke oder deren mehrere, die sich gegeneinander bewegen (Abbildung 12). Hierbei mischen sich die zerschnittenen Teile innig zu einer einheitlichen Masse. Nötigenfalls wird die Vermischung durch einigen Wasserzusatz und Kneteinrichtungen unterstützt. Die dickbreiige Masse wird am Ende der Maschine durch ein nach der Außenöffnung enger werdendes Mundstück ausgepreßt und der aus dieser Form ausgetretene Strang in handliche Kuchen (**Maschinentorf**) zerschnitten (Abbildung 13). Diese aus zerkleinertem Material bestehenden Stücke ziehen sich im Gegensatz zu denjenigen des Handtorfs beim Trocknen stark zusammen, nehmen also

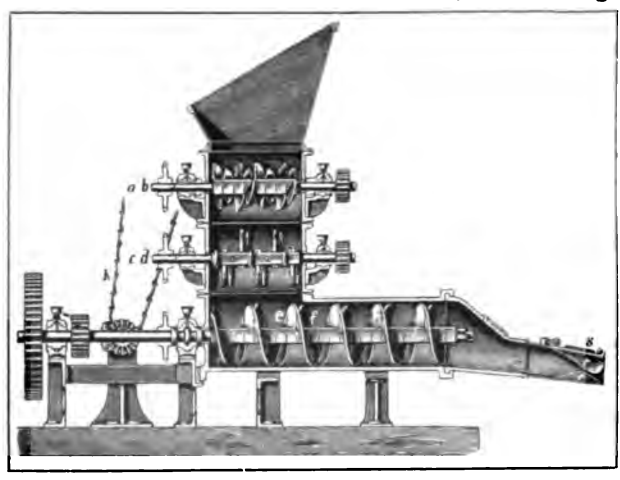


Abbildung 12. Durchschnitt einer Torfmaschine.

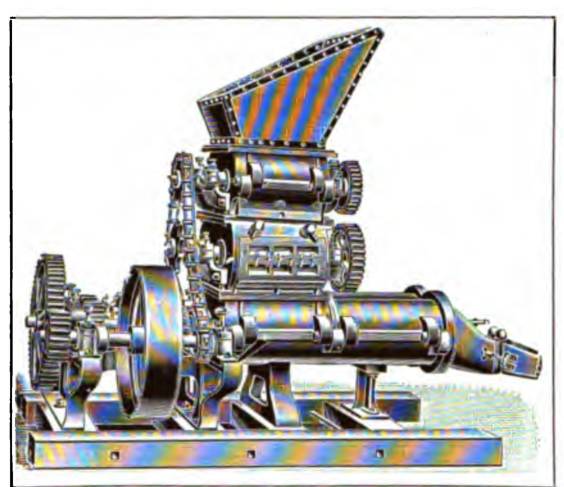


Abbildung 13. Außenansicht einer Torfmaschine.

ein geringeres Raummaß ein und damit an Brennwert auf die Raumeinheit zu. Überdies verkrusten sie hierbei so dicht, daß sie nach erstmaliger gehöriger Austrocknung nur noch in unbedeutendem Maße aus der Luft Feuchtigkeit aufzunehmen vermögen.

Zu einigen Zeiten des Jahres stellt sich hier und da ein Verfahren billiger, das darin besteht, den zerkleinerten Torf mit seinem vollen ursprünglichen Wassergehalt oder womöglich noch mit etwas Wasser versetzt in Gräben oder über vertiefte Flächen auszubreiten, hier festzutreten, durch mehrmonatige Lagerung eine Abtrocknung bis auf einen Wassergehalt von etwa 40 % zu erzielen und dann erst die Durchknetung der Masse sowie die Formgebung herbeizuführen. Diese natürliche Abtrocknung erfolgt schnell in den Hochsommermonaten, langsam im Winter. Deswegen arbeitet man auf diese Weise entweder für kurze Zeit im Hochsommer oder überläßt das Material während der langen Winterszeit sich selbst. Der auf solche Weise vorbereitete Breitorf wird vielfach auch durch Schneiden der ausgeglätteten Masse oder durch Einstreichen in eiserne Rahmenformen zu gleichmäßigen, handlichen Stücken geformt.

Wird große Dichtigkeit vom Brenntorf gefordert, so soll im Gegenteil der als Viehstreu zur Verwendung kommende Torf recht locker sein, damit er eine möglichst große Aufsaugefähigkeit hat. Die losen Moostorfe der Hochmoore kommen daher hierfür am ersten in Frage. In ihren kurzfaserigen Partien geben sie den pulverigen und staubigen Torfgrus, der als Torfmull in den Handel kommt. Zur Gewinnung dieser beiden Torfarten bedarf es einer noch sorgsameren Entwässerung des Moores als beim Brenntorf; dürfen sie doch keinesfalls mehr als 30 % Wasser, im lufttrockenen Zustande höchstens 20 % Wasser enthalten. Die in gleicher Weise wie Brenntorf gestochenen und getrockneten Soden dieser Torfarten werden in sogenannten Reißwölfen durch Zähne, die in einem Gehäuse auf einer Welle oder Walze rotieren, zerrissen und dadurch die langfaserigen Teile von dem kleinkrümeligen Material getrennt, erstere als Torfstreu, letzteres als Torfmull verwandt. Für den Versand werden beide Torfarten in besonderen Pressen (Abbildung 14) zu großen Ballen zusammengedrückt, diese mit Draht und Latten umgeben, bei sehr feinem Mull oder bei Auslandsversand auch wohl in Jute eingenäht. Torfstreu und Torfmull werden in Viehställen und für Aborte benutzt, Torfmull daneben noch besonders als Wärme- und Trockenschutzmittel.

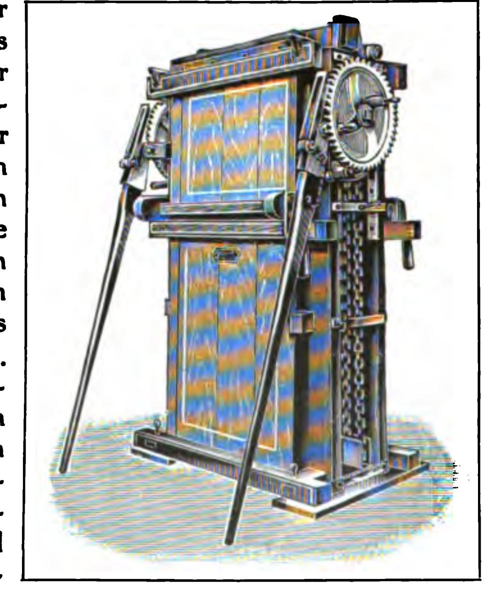


Abbildung 14. Torfpresse.

Die vielen Versuche, unsere ausgiebigen Torflager in ausgedehntem Maße zur Brennstoffversorgung unseres Vaterlandes, vornehmlich auch zur Deckung des gewaltigen Bedarfs unserer Industrie an Brennstoffen heranzuziehen, haben bisher kein sonderlich befriedigendes Ergebnis gehabt. Wohl hat man es gelernt, in geeigneten Feuerungsanlagen den Heizwert des Brenntorfs gut auszunutzen und in Generatoranlagen ein brauchbares Kraftgas daraus herzustellen, aber in dem Bestreben, durch Erhitzung von Torf unter Luftabschluß (trockene Destillation) einen Torfkoks zu erzeugen, der mit Kohlen und Steinkohlenkoks wettbewerbsfähig ist, hat man vollbefriedigende Ergebnisse noch nicht erreicht. Kann man auch auf die letztgenannte Weise einen an sich wertvollen Brennstoff herstellen, so doch noch nicht in solcher Billigkeit, daß ihm ein über den Erzeugungsbezirk hinausgehender Markt erschlossen werden könnte. Einstweilen bleiben Brenntorf, Streutorf und Torfmull, deren Herstellung wir oben kurz schilderten, noch immer die Hauptprodukte der Torfgewinnung. Die allerneueste Entwicklung berechtigt jedoch zu der Hoffnung, daß es auf dem Wege der Vergasung von Torf wohl am ehesten gelingen dürfte, die gewaltige, in unseren großen Mooren liegende Kraft so zu erschließen, daß sie im Laufe der Zeit Kohle und Koks aus den Moorgebieten vielleicht verdrängen wird.

4. BRAUNKOHLE

DIE ARTEN UND VORKOMMEN VON BRAUNKOHLE. Von den jüngeren geologischen Epochen bot, wie wir sahen, vornehmlich die Zeit des Tertiärs günstige Bedingungen für die Kohlenbildung. Die Sedimente, welche an der Zusammensetzung der Tertiärformation beteiligt sind, haben sich zumeist noch nicht zu festen Gesteinen erhärtet, sind vielmehr vorwiegend noch locker oder weich.

Treffen wir darin die Braunkohle — wie es zumeist der Fall ist — noch am Orte ihrer Entstehung an, so ist sie naturgemäß mehr oder weniger reich an Holzresten (Lignit) in denjenigen Lagen, welche den Moorbildungen mittleren Alters entsprechen. Neben diesen lignitischen Partien bildet das aus feineren Pflanzenteilen herrührende Material Lagen von mehr oder weniger festem, bei der Gewinnung in feinere und gröbere Stücke zerfallendem Stoffe, in dem in der Regel das unbewaffnete Auge von der ursprünglichen Pflanzenstruktur nichts mehr erkennen kann. Gewöhnlich hat in diese dichtere Braunkohlenart von der Erdoberfläche her Wasser eindringen können. Dadurch sind naturgemäß die aus den feinsten, zartesten Pflanzenteilchen gebildeten Partien weich und zerreiblich, „erdig", ja, bei völliger Durchtränkung mit Wasser, gelegentlich auch „schmierig" geworden. Wo besonders harzreiche Gewächse in den tertiären Mooren gedeihen konnten, wurden sie und ihre Harzausscheidungen in das Moor eingebettet. Solche dadurch an Kohlenwasserstoffen reiche Braunkohle wird zur Gewinnung ihres Bitumengehalts „verschwelt". Größere Harzausscheidungen, welche sich gelegentlich in hellbraunen Brocken darin finden, werden als „Pyropissit" bezeichnet. Auf der ursprünglichen Materialverschiedenheit beruhen also die Unterschiede der Braunkohlenarten, die man als lignitische, gewönliche stückige und erdige Braunkohle, als Schmierkohle und Schwelkohle bezeichnet.

Wenn Braunkohle durch strömendes Wasser von ihrer Bildungsstelle entfernt und an zweiter Stelle von neuem zur Ablagerung gekommen ist, so sind ihre Bestandteile stark zerrieben, feinkörnig geworden. Gräbt man in solche Braunkohle hinein, so laufen ihre Körner an den Wänden herunter — daher nennt man sie Rieselkohle.

Nahmen braunkohlenführende Schichten an intensiver Gebirgsfaltung teil, so wurde durch die hierbei entstehende Steigerung von Druck und Wärme der Kohlenbildungs-

prozeß beschleunigt: aus der mattbraunen, verhältnismäßig lockeren und weichen Masse wurde dann an einzelnen Orten ein stark glänzendes, festes und hartes Produkt, das äußerlich kaum von Steinkohle zu unterscheiden ist. In diesen Zustand ist Braunkohle manchenorts auch durch die Hitze und den Druck glutflüssiger Eruptionsmassen dort, wo diese durch Braunkohle drangen oder sich deckenförmig auf die Braunkohle legten, versetzt worden. Dabei sonderten sich an den Berührungsflächen zwischen Braunkohle und Eruptionsmassen hier und da wohl stängelige Prismen von Kohle ab. So entstanden durch nachträgliche äußere Einwirkungen die Braunkohlenvarietäten: Glanz- oder Pechkohle, auch Spiegelkohle genannt, und Stangenkohle.

Die tertiären Faulschlammbildungen werden mit dem Sammelnamen Dysodil (griech. dys — übel, odmeeis — duftend) bezeichnet, weil ihr starker Gasgehalt beim Verbrennen einen schlechten Geruch erzeugt. Einige Dysodilarten sind ganz dünnblättrig und zerteilen sich an der Luft in einzelne feine Lagen: daher die Namen Schieferkohle, Blätterkohle, Papierkohle für diese Spielarten der Braunkohle. —

Zur Tertiärzeit hat zwar in vielen Gegenden auf der Erde eine Kohlenbildung eingesetzt, aber doch nur eine beschränkte Anzahl dieser Bildungen ist derartig beschaffen und gelegen, daß ihre Ausbeutung bisher in Frage kommen konnte. Nur solche Vorkommen nutzbarer Mineralien, bei denen dies der Fall ist, bilden aber die Grundlagen der Technik. Sie allein können daher hier eine Berücksichtigung erfahren.

In nennenswertem Maße findet eine Gewinnung von Braunkohle nur in Deutschland, Österreich und Neuseeland statt. Nur die europäischen Braunkohlenvorkommen sollen hier eine kurze Schilderung erfahren.

Deutschland. Die mächtigste Braunkohlenbildung ist uns am Niederrhein, westlich von Köln, in der sogenannten niederrheinischen Bucht erhalten geblieben, zu der sich etwas oberhalb Bonn das Rheintal allmählich erweitert. Innerhalb dieser Bucht sind die Tertiärschichten mitsamt den Braunkohlen an einer Anzahl mehr oder weniger paralleler, die Erdkruste durchziehender Risse von vorwiegend nordwestlichem Verlauf mitten im Rheinischen Schiefergebirge hinabgesunken. Die einzelnen Schollen, welche längliche Streifen bilden, sind verschieden tief gesunken. An einem, das Vorgebirge oder die Ville benannten Höhenzuge, der sich von Bonn aus etwa 5—6 km westlich vom Rhein und parallel zu diesem bis nach Grevenbroich hinzieht, ragt die wesentlichste Braunkohlenbildung dieses Gebiets noch über die Talsohle empor (Abbildung 15). Sie bildet den Sockel des Vorgebirges fast auf seiner ganzen Längs- und Quererstreckung, auf etwa 25 km Länge bei 5—6 km Breite. Die

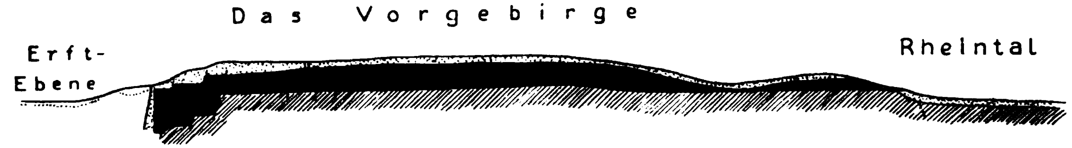


Abbildung 15. Querschnitt durch das niederrheinische Braunkohlenlager. (Nach Fliegel.)

im südlichsten Teil herrschende Mächtigkeit der Braunkohle von durchschnittlich etwa 18 m nimmt westlich von Brühl bis auf 30, 40 und 50 m zu, geht dann in der Gegend von Frechen wieder etwas zurück auf 20—30 m, um endlich an und nördlich der Köln-Aachener Bahn ihr Höchstmaß zu erreichen, bis zu 104 m im Felde der Grube Fortuna. Unter diesem gewaltigen Braunkohlenlager folgt, durch eine vielfach ge-

winnungswürdige Tonschicht von wenigen Metern Dicke getrennt, ein zweites Braunkohlenlager, an einigen Stellen bei 8—10 m Mächtigkeit gleichfalls ausgebeutet.

Zwischen dem im Westen am Vorgebirge entlanglaufenden Erftbache und dem Düren berührenden Flüßchen Roer sowie westlich davon sind die Schollen tiefer als am Vorgebirge in die niederrheinische Bucht hineingesunken. Soweit dabei die Braunkohle an den südlichen Enden einiger weniger dieser Schollenstreifen nahe an der Tagesoberfläche verblieben ist, u. a. bei Lucherberg, nordöstlich von Aachen, lohnt auch hier ihre Gewinnung.

Die rheinische Braunkohle besteht, abgesehen von einer geringen Decke von Schmierkohle und von den vielfach umfangreichen Resten ehemaliger Baumstümpfe, zum einen Teil aus einer dichten, festen, daher stückigen Kohle (Knabbenkohle), zum anderen Teil aus erdiger Feinkohle. Im Norden bildet die Feinkohle nur eine Decke über der Knabbenkohle, im Süden überwiegt sie.

Von den vielen übrigen in Einsenkungen im Rheinischen Schiefergebirge erhalten gebliebenen Braunkohlenvorkommen verdienen höchstens diejenigen des Westerwaldes eine kurze Erwähnung. Bei Westerburg, Hachenburg und Limburg a. d. Lahn bildet sehr stark lignitische Braunkohle in geringer, nur bis 3,6 m gehender Mächtigkeit Gegenstand eines wenig bedeutenden Bergbaues. Größere wirtschaftliche Bedeutung haben eine Anzahl zerstreuter Vorkommen am unteren Main (10—20 m Braunkohle) bei Hanau und in der Wetterau zwischen Friedberg und Hungen. In beiden Gebieten handelt es sich zum Teil um mulmigerdige, zum Teil stark lignitische Braunkohle. Wesentlich bessere Qualität weist die Braunkohle einiger räumlich beschränkter Vorkommen in Hessen-Nassau (weitere Umgegend von Kassel) und im südlichen Hannover auf. Die meisten dieser Braunkohlenflöze (von 2—6, auch 7—8, ausnahmsweise 30 m Mächtigkeit) sind durch darüber gelagerte Basaltdecken vor der Zerstörung bewahrt worden. Dabei hat der ehedem glutflüssige Basalt hier an manchen Stellen veredelnd auf die Kohle eingewirkt.

In der Provinz Sachsen finden wir sodann den größten Braunkohlenvorrat Deutschlands. Aus der älteren Tertiärzeit stammen einmal eine Anzahl größerer (Helmstedt-Oschersleben 35 km lang, 7 km breit) und kleinerer Mulden (Egeln-Löderburg, Eggersdorf, Calbe, Bernburg) mit gewöhnlich einem stärkeren (10 bis 12 m, in Helmstedt bis 20 und 30 m) oder mehreren dünneren Flözen und guter, stückreicher Kohle.

Alle diese nach dem niederrheinischen angeführten Braunkohlenvorkommen liegen so tief unter der Erdoberfläche, daß sie nur durch bergmännischen Tiefbau gewonnen werden können.

Bei Aschersleben, in der Umgegend von Halle, besonders südlich davon und fortsetzend ins Königreich Sachsen sowie nach Sachsen-Altenburg, sodann in der Gegend von Bitterfeld und vor allem in der westlichen Lausitz (Senftenberg-Kottbus) erreichen ausgedehnte Braunkohlenlager eine solche Mächtigkeit und liegen dabei großenteils so dicht unter der Erdoberfläche, daß sie vorwiegend im Tagebau gewonnen werden können. Bei Halle ist ein gewöhnlich 10—20 m, stellenweise bis 70 und 80 m (Geiseltal) mächtiges, bei Aschersleben ein bis zu 50 m mächtiges Braunkohlenlager Gegenstand des Abbaues. Bei Bitterfeld handelt es sich um 6—15 m, in der westlichen Lausitz um ein bis 20 m mächtiges Lager, unter dem hier 30 bis 40 m tiefer noch ein zweites Braunkohlenflöz zur Freude für spätere Generationen einstweilen unberührt liegen bleibt. Alle diese mächtigen mittelsächsischen Braunkohlenvorkommen liegen fast horizontal und verhältnismäßig wenig gestört als an-

nähernd ebenflächig begrenzte mächtige Platten unter meist geringer Bedeckung von Kies und Sand.

Was außerdem im östlichen Deutschland an vielen Stellen der Mark Brandenburg, der östlichen Lausitz, in Schlesien und anderen Orten von Braunkohle bekannt ist, bildet dünnere Flöze, die in weitgehendem Maße durch Faltungen und Zerreißungen gestört sind. Eine größere Festigkeit der Kohle ist wohl als Wirkung dieser Störungen aufzufassen. Die ostdeutsche Braunkohle ist meist wesentlich grobstückiger als die mittelsächsische, die ihrerseits vielmehr stellenweise sogar als Rieselkohle auftritt und damit deutlich auf geschehene Umlagerung hinweist.

Von den in Bayern erhalten gebliebenen Braunkohlenvorkommen führen diejenigen der Bayrischen Rhön (3—4 m) sowie entlang der Naab (Schwandorf bis Amberg, 3—39 m) eine der mitteldeutschen ähnliche Braunkohle. Anders geartet aber ist die in Oberbayern am Fuße der Alpen in zahlreichen Flözen anstehende Tertiärkohle. Sie ist eine harte, feste Pechkohle, die sich von Steinkohle nur durch den auf höherem Harzgehalt beruhenden Glanz unterscheidet. Dieser Kohlencharakter hat seinen Grund in der starken Pressung und Faltung, welche die Kohle samt den sie umschließenden Schichten bei der Auffaltung der Alpen erlitten hat. 4—5 Flöze sind bei Peißenberg und Penzberg, vor allem aber bei Miesbach und Hausham trotz der geringen, selten über 1 m hinausgehenden Mächtigkeit infolge der vorzüglichen Qualität der Kohle bauwürdig.

Von den zahlreichen österreichischen Braunkohlenvorkommen ist dasjenige des nordwestlichen Böhmens das einzige, das eine mehr als lokale Bedeutung hat. Westlich der Elbe lehnt sich an den Südfuß des Erzgebirges eine ihm parallel verlaufende Mulde an, die mit tertiären Schichten erfüllt ist. Darin finden wir einmal zwischen Falkenau und Karlsbad ein Braunkohlenflöz von mittlerer Mächtigkeit, daneben aber von Saaz und Komotau bis nach Aussig an der Elbe auf 62 km Längserstreckung hin ein bedeutendes Flöz in großer Breitenentwicklung (bis 10 km). Seine Mächtigkeit schwankt zwischen 10 und 30 m reiner Kohle in der größeren östlichen Hälfte des Gebietes. Nach Westen hin stellen sich mehrere Zwischenmittel ein und verteilen die Gesamtmächtigkeit der Kohle auf drei dementsprechend schwächere Flöze, so zwar, daß das mittlere mit rund 8 und das obere mit 4—5 m noch sehr gut abbauwürdig sind. Das Braunkohlenflöz bildet innerhalb des Gesamtbeckens eine Anzahl größerer und kleinerer Spezialmulden, in deren Innern es flachwellig oder auch

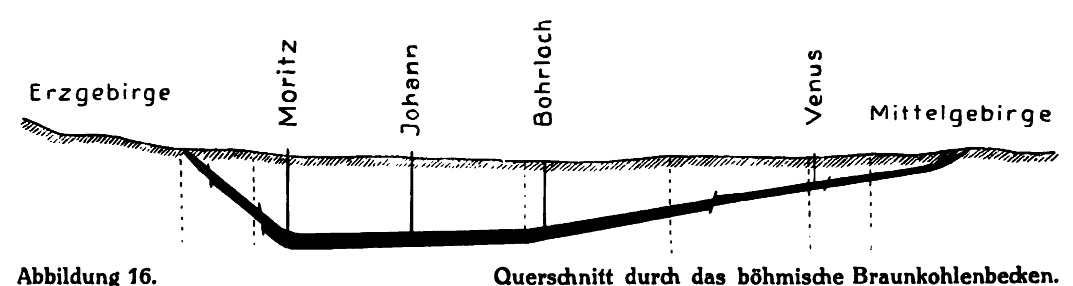


Abbildung 16. Querschnitt durch das böhmische Braunkohlenbecken.

annähernd horizontal liegt. Nach dem Erzgebirgsrande hin steigt es aus den Mulden in der Regel steil heraus, während es nach Süden hin sanft zutage ausgeht (Abbildung 16). Die Kohle hat im Becken Teplitz-Aussig vorwiegend normalen Braunkohlencharakter, dabei aber einen für Braunkohle hohen Heizwert. In dem größten, dem Dux-Brüxer Becken, kommt daneben eine pechschwarze, stark glänzende, leb-

haft an Steinkohle erinnernde Kohle vor, besonders am Nordrande bei Osegg und Bruch, die an Heizwert guter Steinkohle völlig ebenbürtig ist. Westlich Brüx herrscht in den dort übereinanderliegenden Flözen wieder gewöhnliche Braunkohle vor. —

Die folgende Zahlentafel zeigt, wie der Wassergehalt der Braunkohle ausschlaggebend ihren Wärmewert beeinflußt und daß er bis zum hohen Betrage von 60% hinaufgehen kann. Der Aschengehalt schwankt bei der Braunkohle beträchtlich. Der gesamte, in festen und gasförmigen Verbindungen vorliegende Kohlenstoffgehalt schwankt bei deutscher Braunkohle zwischen 64 und 73, bei böhmischer zwischen 70 und 78%.

ZAHLENTAFEL

Deutschland	Wasser	Wärmeeinheiten	Asche
Braunkohle von Oberbayern	10	4700—5600	13—22
„ „ Hessen	40—45	3600	
„ „ Magdeburg	48	2200—3200	2—10
„ „ Halle	52		
„ „ Meuselwitz	55		
„ „ Lausitz	58	2000—2700	2—7
„ „ Niederrhein	60	2100—2400	2—4
Böhmen			
Böhmische Glanzkohle	2,8—5,4	7080—7150	3,8—7
Braunkohle von Seestadl	17—18	4500—5800	1—4
„ „ Karbitz	25—28	4200—4900	3
„ „ Arbesau	35	4200	2,5
„ „ Komotau	37	3085	10

DIE GEWINNUNG DER BRAUNKOHLE. Ein beträchtlicher Teil der Braunkohlenablagerungen ruht erfreulicherweise nahe der Erdoberfläche. Er ist imstande, den heutigen Bedarf so billig zu decken, daß eine Ausdehnung des Bergbaues auf die in größere Tiefe versunkenen Braunkohlenpartien erst für spätere Geschlechter in Frage kommt. Diesen verbleiben in der Lausitz wie im Rheinland noch reichliche Vorräte. Die Gewinnung der Braunkohle vollzieht sich entweder im Tagebau, also an der Erdoberfläche, oder durch rein bergmännische Anlagen, wenn auch nur in geringer Tiefe — Tiefbau.

BRAUNKOHLENGEWINNUNG IM TIEFBAU. SCHACHTABTEUFEN. In nur wenigen Fällen liegen die Braunkohlenflöze solcher Art in einem Berge, daß sie allein mittels Stollen aufgeschlossen werden können, wie zum Teil in Hessen-Nassau. Beim Tiefbau auf Braunkohle bildet vielmehr die Notwendigkeit, Schächte bis in die Braunkohle abteufen zu müssen, die Regel. Wenngleich diese selten tiefer als 100 m werden müssen, so ist ihr Niederbringen in den meisten Fällen doch mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden, weil sie lockere, wassererfüllte Sande und Ton, der die Neigung hat, durch Wasseraufnahme aufzuquellen und dann starken Druck auszuüben, durchdringen müssen. Dem Schachtabteufen in Tertiärschichten ist ganz feiner Sand, der mit Tonteilchen innig vermischt und wasserdurchtränkt ist, am gefährlichsten. Solches Material — Schwimmsand, Fließsand genannt — sickert durch die feinsten Ritzen der Schachtverkleidung und bringt dann die ganze Umgebung des Schachtes in Bewegung.

Wenn bis zur Braunkohle keine nennenswerten Schwimmsandschichten zu durchteufen sind, so kommt man wohl mit einer sorgsamen Verschalung der Schachtwände

hinter der Schachtzimmerung durch Bohlen und Bretter aus. Fast immer ist es jedoch mindestens notwendig, diese in der Weise nach der Tiefe hin vorzutreiben, daß die unten zugespitzten Bretter rings um den Schacht außen hinter bereits befestigte Bretter gesteckt und mit Gewalt nach unten geschlagen — vorgetrieben — werden. Mit dieser „Getriebezimmerung" muß meist eine Sicherung der „Schachtsohle" durch Vertäfelung des jeweiligen Schachtbodens und dessen vorsichtiges stückweises Tieferlegen Hand in Hand gehen. Durch Einstopfen von Strohbündeln (Wiepverfahren) kann man dem Hereindringen von Fließsand in die Schachtsohle überdies noch entgegenarbeiten.

Das bei der Getriebezimmerung durch die hölzerne Schachtverkleidung dringende reine Wasser bildet gewöhnlich kein unüberwindliches Hindernis. Die Hauptsache ist, daß die festen Bestandteile der Tertiärschichten verhindert werden, nach- und in den Schacht einzudringen. Gelingt das nicht, setzen sich die Schichten vielmehr in Bewegung, so üben sie auf die Schachtzimmerung starken Druck aus, der leicht zu deren Zerstörung und zum Verlust des Schachtes führen kann.

Die Bewältigung von Schwimmsand ist auch gelungen durch Hinabtreiben von Hohlkörpern aus Eisen und Stahl (Röhren von rundem oder ovalem Querschnitt sowie rechteckigen länglichen Kästen aus Stahl), von denen ein Stück in das andere hineingreift. Solche eisernen „Spundwände" führten aber nur in denjenigen Fällen zum Erfolg, wo der Schwimmsand nicht mächtiger als höchstens 20 m lag. Diesen beiden Abteufarten muß in der Regel eine starke endgültige Verkleidung der Schachtwände folgen. In den meisten Braunkohlenschächten besteht der Ausbau aus Mauerwerk von Ziegelsteinen und Zementmörtel, neuerdings auch Beton und Eisenbeton. Aufeinandergesetzte gußeiserne Ringe (Tübbings) werden auch wohl verwandt, wenn starker Druck zu gewärtigen ist. Ist dies der Fall, so kommt man indes meist mit den genannten Abteufverfahren nicht zum Ziel.

Liegen die mit Getriebezimmerung oder Spundwänden nicht zu bewältigenden bösartigen Schichten dicht unter der Erdoberfläche, so kommt ihre Überwindung durch Senkschacht in Frage. Hierbei wird ein zur Auskleidung des Schachthohlraumes bestimmter kreisrunder Schachtzylinder an der Erdoberfläche zusammengesetzt, in die lockeren Tertiärmassen hinabgepreßt und in dem Maße, wie das gelingt, auf den Schachtzylinder ein Stück nach dem andern aufgesetzt und mit den vorhergehenden fest verbunden. Das alte Verfahren, bei dem der Senkzylinder durch Aufmauern hergestellt, das Absinken wesentlich durch das Entfernen der losen Massen im Innern des Senkzylinders und durch das mit dem Tieferrücken zunehmende Eigengewicht des Senkzylinders erreicht wurde, dürfte in Zukunft wohl nur noch für kurze Stücke zur Ausführung gelangen, da diese Methode nur geringe Sicherheit für das Gelingen bietet. Der Mauerzylinder ruht in vorliegendem Falle auf einem Stahlkranz — „Senkschuh" —, der, nach unten mit einer rings um den äußeren Schachtrand führenden Schneide versehen, sich damit in das lockere Material hineinarbeitet und nach der Tiefe vordringt.

Das Niederdrücken eines Senkschachtes mit Hilfe eines solchen Senkschuhes gelingt sicherer, wenn man den Senkzylinder durch hydraulische Pressen zum stetigen gleichmäßigen Einsinken zwingt (Abbildung 29). Dies ist nur möglich, wenn der Senkzylinder aus Eisen hergestellt wird. Auf den Senkschuh werden gußeiserne Ringe — Tübbingringe — aufgesetzt, die gewöhnlich aus einzelnen Segmenten bestehen. Segmente wie Ringe werden fest miteinander verschraubt, und eine sichere Abdichtung durch Verstemmen von Bleistreifen in alle Fugen erreicht (Abbildung 31).

Die hydraulischen Pressen, welche diese Schachtwand — Cuvelage genannt — niederdrücken, stemmen sich am Schachtrand gegen ein kreisförmig um den Schacht herum verlagertes sehr kräftiges Widerlager und üben gewaltigen Druck auf den Senkschacht aus (Abbildung 29). Bis zu 1500 t Preßdruck ist im Braunkohlenbergbau hierbei schon angewandt worden, ungefähr entsprechend dem Gewicht, das 30 schwerste Eisenbahnlokomotiven aufeinandergestellt ausüben würden. Mit einem hydraulisch hinabgepreßten gußeisernen Senkschacht wird sehr viel sicherer ein Erfolg erzielt als mit einem gemauerten, wenn auch seine Kosten sich höher stellen. Ein eiserner Senkschacht von etwa 50 bis 60 m Tiefe, wie er im Braunkohlenbergbau wohl in Frage kommt, erfordert oft einen Kostenaufwand von 3-—400000 Mark.

Aber selbst mit dem gewaltigen Drucke hydraulischer Pressen kommt man nicht immer zum Ziele. Wenn der Senkschacht z. B. auf eine Bank festen Sandsteins stößt, wie er insbesondere als sogenannter Knollensandstein den Tertiärschichten gelegentlich zwischengelagert ist, so nutzt alle Gewalt der hydraulischen Pressen nichts: eher springt der Senkzylinder in Stücke, als daß er sich auch nur noch um ein Millimeter weiter abwärts bewegte.

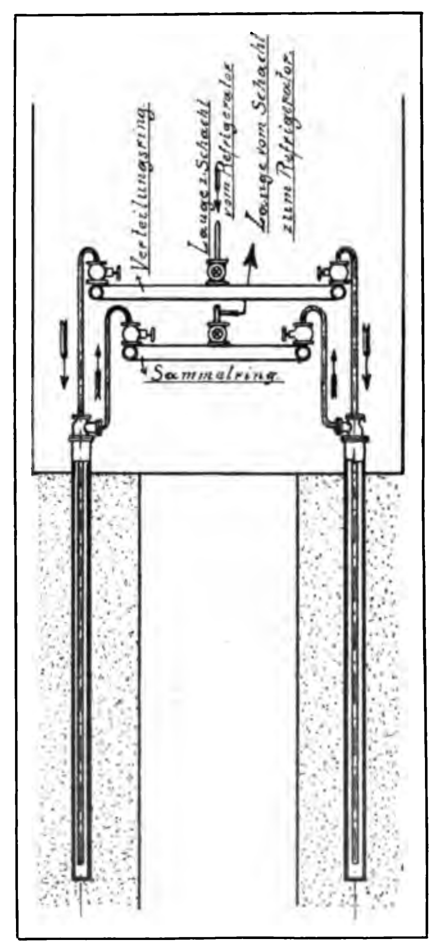


Abbildung 17. Anordnung der Rohrleitungen beim Gefrierschachtverfahren.

Solchem bösen Fall wird vorgebeugt, wenn man anstatt zum Senkschacht zum Gefrierverfahren greift. Dieses besteht darin, daß man an der Stelle, wo der Schacht niedergebracht werden soll, das in den tertiären Schichten enthaltene Wasser zum Gefrieren bringt. In dem Eisblock, der dadurch erzeugt wird, kann dann das Abteufen des Schachtes wie in festem Gestein vorgenommen werden. Um einen für diesen Zweck genügend umfangreichen Eisklotz herzustellen, werden in einem Kreise von etwas größerem Durchmesser, als er dem Schacht eigen werden soll, Bohrlöcher durch die wasserführenden Schichten hinabgestoßen und mit Rohren von einigen Zoll Weite ausgekleidet (Abbildung 17). Das zuerst hinabgelassene Stück dieser Rohre hat einen Boden, der die Rohrverkleidung nach unten abschließt. Diese verhältnismäßig weiten Rohre werden über Tage durch eine kreisrunde, um die Schachtstelle herumlaufende horizontale Rohrleitung, den Sammelring, verbunden. Durch die oberen Verschlußstücke der weiten Rohre werden enge Rohre — Gasröhren gleich — im Innern der weiten Rohre bis nahe an deren vorerwähnten Abschlußboden hinuntergeführt. Diese engen Rohre — Fallrohre — bleiben unten offen und münden über Tage ihrerseits in eine rings um die Schachtstelle herumführende zweite horizontale Rohrleitung, den Verteilungsring. In diesen Verteilungsring wird eine künstlich auf 15—20° abgekühlte Gefrierlauge gepreßt, gewöhnlich eine Chlormagnesiumlösung, die bei dieser Temperatur noch flüssig bleibt. Dieser „Kälteträger“, die Gefrierlauge, gelangt durch die engen Fallrohre auf den Boden der die Bohrlöcher

auskleidenden weiten Rohre, steigt von hier in den Steigrohren zum Sammelring empor, gelangt von dort zu neuer Abkühlung in die maschinell betriebene Gefrieranlage und wird dann aufs neue dem Verteilungsring zugepreßt.

Bei diesem Umlauf entzieht die Gefrierlauge der Umgebung der Bohrlöcher allmählich in solchem Maße Wärme, daß sich um jedes Bohrloch herum langsam ein Eiszylinder bildet. Das Verfahren wird eine Reihe von Monaten hindurch so lange fortgesetzt, bis die Eiszylinder benachbarter Bohrlöcher zusammenstoßen und das Innere des von den Bohrlöchern umschlossenen Kreises endlich vollends auszufüllen beginnen.

Die Technik des Gefrierverfahrens ist heute so weit entwickelt (s. unter Steinkohlenbergbau), daß sie die geringen Tiefen, welche im Braunkohlenbergbau in Frage kommen, mit Sicherheit überwindet. Wassererfüllte Sandschichten machen dabei keine nennenswerten Schwierigkeiten: das Eis wirkt als festes Bindemittel zwischen den Sandkörnern und verkittet sie so fest, daß die Schicht einem Sandstein von großer Festigkeit gleich wird. Die Braunkohle selbst ist weniger gutartig, da sie als ein schlechter Wärmeleiter durch Frost nicht gleich leicht zur Verfestigung gebracht werden kann. Aber auch sie bietet dem Gefrierverfahren heute ein unüberwindliches Hemmnis nicht mehr.

Das Abteufen des Schachtes im Eisblock geschieht ähnlich wie in festem Gestein durch Sprengarbeit. Die Auskleidung — der „Ausbau“ — des Schachtes erfolgt neuerdings in der Regel durch Tübbings, die wir oben beim Senkschachtverfahren schon kennen gelernt haben; hier nur mit dem Unterschiede, daß die Ringe im Schachte selbst an der Stelle eingesetzt werden, an der sie endgültig verbleiben. Die zwischen den Tübbingringen und der Frostmauer verbleibenden geringen Hohlräume werden auf das sorgsamste mit möglichst trockenem, langsam bindendem Beton ausgefüllt.

Den Eisrest, der nach dem Abteufen zunächst noch rings um den Schacht ansteht, überläßt man neuerdings gewöhnlich nicht mehr sich selbst und dem natürlichen Schmelzen, sondern bewirkt das Auftauen in den Gefrierbohrlöchern durch erwärmte Lauge, deren Temperatur allmählich gesteigert wird. Damit wird mit Sicherheit ein gleichmäßiges Auftauen des Eisblockes erreicht, und es werden etwaige einseitige und den Schachtausbau gefährdende Druckwirkungen verhütet.

Sind die Kosten des Gefrierverfahrens — etwa 4-—5000 Mark für das laufende Meter Schacht — auch hohe, so bietet es in seiner derzeitigen technischen Entwicklung bei den geringen Tiefen des Braunkohlenbergbaues doch die Gewähr eines geradezu unbedingten Gelingens des Schachtes. Im Hinblick hierauf ist auch der Zeitaufwand kein ungebührlich hoher, den die Durchführung der Gefrierarbeit erfordert. Die Herstellung der im letzten Jahrzehnt im Braunkohlenbergbau abgefrorenen Schächte von 65—85 m Teufe erforderte in der Regel annähernd 1¼ Jahr vom Beginn der Bohrarbeiten für die Gefrierlöcher bis zur Fertigstellung der Schachtverkleidung.

DER UNTERIRDISCHE BRAUNKOHLENABBAU. Im unterirdischen Braunkohlenbergbau dient in der Regel nur ein einziges Horizontalniveau — eine „Sohle“ — der Hauptförderung.

Ist die Herstellung des Schachtes glücklich beendet, so wird das Braunkohlenflöz bei unregelmäßiger Lagerung im Niveau dieser Hauptfördersohle verfolgt. Die hierbei hergestellten tunnelartigen Hohlräume, „Strecken“, bedürfen in der Regel nur eines normalen Holzausbaues. Kommt, wie in Oberbayern, Hessen und anderen Orten, die gleichzeitige Gewinnung mehrerer Braunkohlenflöze von einer Sohle aus in Frage, so müssen die dazwischenliegenden Tertiärschichten durchquert — durchörtert —

werden. Die „Grundstrecken“ in den Flözen werden in diesem Falle durch die „Querschläge“ verbunden. Deren Herstellung macht in den lockeren Tertiärmassen meist Schwierigkeiten und bedingt in der Regel die Anwendung einer Getriebezimmerung ähnlich derjenigen beim Schachtabteufen. Sorgsame und gehörig starke Ausmauerung oder Ausbetonierung der Querschläge unter Verwendung von Eiseneinlagen empfiehlt sich in den meisten Fällen, da sie gewöhnlich für längere Zeit als Hauptförderwege dienen sollen. Steht nur ein annähernd horizontal und regelmäßig gelagertes, womöglich auch mächtiges Braunkohlenflöz zum Abbau, wie meist im Magdeburger und Hallenser Bezirk, so werden an Stelle der Grundstrecken Hauptförderstrecken geradlinig so durch das Grubenfeld gelegt, wie es zur Verbindung von dessen einzelnen Teilen mit dem Schachte jeweilig am zweckmäßigsten ist.

Alle die genannten Streckenarten erhalten nur so viel Neigung, daß einmal das Grubenwasser — „die Wasser“ — in ihnen zum Schacht ablaufen kann und anderseits auf ihrer schwach zum Schacht geneigten Schienenbahn die Beförderung der leeren Grubenwagen vom Schachte fort ungefähr die gleiche Anstrengung erfordert wie der Transport der beladenen Wagen zum Schachte hin. Eine stärkere Neigung muß den Hauptförderwegen naturgemäß dort gegeben werden, wo sie nach aufgebogenen Flözteilen hinauf oder nach herabgeknickten hinunterführen — „ansteigende“ oder „einfallende“ Strecken.

Die Gewinnung, der Abbau der Braunkohle, erfolgt bei unterirdischem Betriebe durchweg mittels eines eigenartigen Pfeilerbruchbaues. In Deutschland wird beim Pfeilerbruchbau auf Braunkohle über einer Grundfläche von etwa 15—20 qm Größe die Kohle unter dem Schutze einer aus Holzstempeln und kurzen Bohlenstücken bestehenden provisorischen Zimmerung bis zu etwa 4 m Höhe entfernt. Der hierbei entstehende glockenförmige Hohlraum wird durch Umreißen der Zimmerung zum Einstürzen und dadurch die zur Sicherheit über der Zimmerung belassene Kohle auch zum Hereinbrechen gebracht. In geringem Abstande, gewöhnlich 1 m, wird ein zweiter „Bruch“ angesetzt, so daß also zwischen je zwei „Brüchen“ eine schmale Kohlenrippe, Pfeiler oder Kohlenbein, stehenbleibt. Von dem beim Bruchschlagen herunterkommenden Kohlenrest wird ein Teil unter den nachdringenden Sand- und Tonmassen, dem „Alten Mann“, verschüttet.

Die Hereingewinnung der Kohle im Bruche erfolgt bei den weicheren Braunkohlenarten mit der Keilhaue, bei den festeren Sorten — Hessen, Bayern — durch Sprengschüsse (Schießarbeit). Von der Sorgfalt und Geschicklichkeit der Bergleute, besonders der sogenannten Bruchschläger hängt es ab, wieviel Kohle verloren geht und wieviel von dem zum Ausbau der Brüche benötigten Holze wiedergewonnen wird. Selbst unter günstigen Umständen ist ein Verlust von rund 50% der anstehenden Kohle in Deutschland beim Pfeilerbruchbau auf einer Etage nichts Ungewöhnliches.

Da die ausgekohlten Räume zum Einsturz gebracht werden, so muß mit dem Abbau fern vom Schacht, entweder an der Feldesgrenze oder doch am Ende der einzelnen Abbauabschnitte, die sich aus den besonderen Lagerungsverhältnissen und dem jeweiligen Stande des Betriebes ergeben, begonnen werden; der Abbau schreitet also nach rückwärts hin, daher die Bezeichnung Pfeilerrückbau.

Bei großer Mächtigkeit der Braunkohle würde der Abbauverlust ein unverhältnismäßig hoher werden, wenn man die ganze Kohlenmächtigkeit auf einmal in den Brüchen gewinnen wollte. Mit der Höhe des auszukohlenden Raumes wächst zudem die Gefahr, daß lockere Kohlenstücke oben im Bruche unbemerkt bleiben und den Bergleuten Schaden an Leib und Leben bringen. Geht die Kohlenmächtigkeit über

5 m hinaus, so wird deswegen in zwei oder mehr Etagen untereinander abgebaut. Hierbei erfolgt zunächst der Abbau der in und über der oberen Etage anstehenden Braunkohlenscheibe. Ist darin der Bruchbau planmäßig ein gehöriges Stück von der Grenze bis in die Mitte des Abbaufeldes vorgeschritten, so wird auf der darunterliegenden Scheibe an der Feldesgrenze mit Auskohlen begonnen. Auf diese Weise werden bei großer Mächtigkeit mehrere Etagen untereinander über ein und derselben Hauptfördersohle angelegt. Von dem beim Abbau einer höheren Etage im „Alten Mann" verbliebenen Kohlenrest wird ein Teil beim Abbau der darunter befindlichen Etage vielfach noch mitgewonnen, so daß sich der Gesamtabbauverlust durch eine in mehreren Etagen untereinander erfolgende Gewinnung gewöhnlich auf etwa 30% herabmindert.



Abbildung 18. Bremsbergförderung.

(Nach einer Aufnahme von H. Börner. Verlag von Craz & Gerlach, Freiberg i. S.)

In der festen und harten böhmischen Braunkohle wird die unterirdische Gewinnung zwar auch durch Pfeilerbruchbau getrieben, dieser aber etwas anders als in der weichen und lockeren Kohle der deutschen Braunkohlenreviere ausgeführt. Quadratische Pfeiler werden in Streckenhöhe unterhöhlt, unter ihnen die Kohle auf etwas über Manneshöhe vollständig fortgenommen und der ganze darüber verbleibende Kohlenblock durch Zimmerung vor stückweisem Hereinbrechen geschützt. Rings um diesen Block werden dann senkrechte Schlitze von 60 cm Weite bis 2—3 m unter das Hangende im Flöze hochgeführt und dadurch der Block ringsherum aus dem Zusammenhang mit dem übrigen Flöze gelöst. Durch Fortnahme einer Anzahl von Tragestempeln unter dem freigelegten Kohlenblock wird er zum Hereinstürzen gebracht. Der Klotz schlägt dabei im ganzen herunter und zerbricht in viele Stücke, wie es für die Gewinnung vorteilhaft ist. An dem Hangenden bleibt zunächst die oberhalb der Schlitze befindliche Kohle stehen, während die Teile des heruntergebrochenen Klotzes aus dem Bruch herausgefördert werden. Diese Schutzlage wird dann aber auch noch zum Hereinbrechen gebracht und auch von der Schutzwand gegen den letzten, bereits ausgekohlten Pfeiler so viel hinweggenommen, als eben möglich ist. Der ausgekohlte Hohlraum stürzt dann bald in sich zusammen und füllt sich mit Material aus dem Hangenden. Um auch dort abbauen zu können, wo die Erdoberfläche die starken, mit dem Bruchbau verbundenen Zerstörungen nicht vertragen kann, wie unter Wegen, Eisenbahnen, Gebäuden, findet in Böhmen stellenweise auch eine systematische Ausfüllung der ausgekohlten Pfeiler durch Hineinschlämmen von Sand statt. Dieser Sandversatz wird in ganz ähn-

licher Weise bewerkstelligt wie beim Steinkohlenbergbau. Näheres darüber folgt daher erst bei dessen Behandlung.

Sehen wir nunmehr zu, wie die gelöste Kohle zutage geschafft wird.

DIE FÖRDERUNG DER BRAUNKOHLE. Wo Abbau in mehreren Etagen stattfindet, wird die gewonnene Braunkohle von den Abbauetagen in sogenannten Kohlenschurren, kleinen Schächten von 1 bis 2 qm Querschnitt, auf die Hauptfördersohle hinuntergestürzt. Unten verschließt eine einfache Klappe die Schurre und gestattet das Abfüllen in Grubenwagen je nach Bedarf. — Seltener münden im Braunkohlenbergbau die Bruchstrecken auf Bremsberge, d. h. geneigte Strecken oder senkrechte, „saigere", Schächte, in welchen die beladenen Grubenwagen auf der einen Seite an einem Stahldrahtseil hinabgelassen werden und durch ihr Übergewicht die leeren Wagen auf der anderen Seite heraufziehen (Abbildung 18). Die Zugseile laufen um eine gemeinsame Welle. Eine übermäßig große Beschleunigung kann durch Anziehen eines auf dieser Welle locker aufsitzenden Eisenbandes verhindert werden (Abbildung 19). Da durch dessen Bremswirkung die Geschwindigkeit geregelt wird, so hat die Einrichtung den Namen Bremsberg.



Abbildung 19. Saigerer Bremsschacht.
(Nach einer Aufnahme von H. Börner. Verlag von Craz & Gerlach, Freiberg i. S.)

Bis zur Schurre oder zum Bremsberg erfolgt die Fortbewegung der Grubenwagen von Hand. Auf der Hauptfördersohle dagegen genügt Menschenkraft allein nur in ganz kleinen Braunkohlengruben zur Betätigung der Förderung. Überwiegend tritt hier die Zugkraft von Pferden oder mechanische Förderung dafür ein.



Abbildung 20. Streckenförderung mit Seil ohne Ende.

Wo im Braunkohlenbergbau unter Tage Pferde verwandt werden, bietet deren Herabförderung durch den Hauptschacht in der Regel so wenig Schwierigkeiten und erfordert bei den geringen Tiefen so geringen Zeit- und Kraftaufwand, daß sie gewöhnlich nicht dauernd in der Grube bleiben, sondern nur zur Arbeitsschicht hineingelassen werden.

Bei der mechanischen Förderung auf der Hauptsohle steht solche mit endloser Kette oder mit Seil ohne Ende (Abbildung 20) im Vordergrunde. Kette und Seil werden durch eine gewöhnlich in der Nähe des Hauptschachtes stehende Maschine dadurch betrieben, daß die Kette oder

das Seil mehrmals über eine Trommel oder deren mehrere geschlungen und die Antriebstrommel auf der Maschinenachse aufgekeilt ist. Die Kette wird oft mit einem der senkrechtstehenden Kettenglieder in ein Schlitzblech hineingelegt, das an einem Ende der Grubenwagen an deren Rand aufgenietet ist (Abbildung 28). Bei Seil ohne Ende geschieht die Befestigung im Braunkohlenbergbau in der Regel durch eine auf den kurzen Wagenrand aufgesetzte Gabel (Abbildung 20), in der das Seil, hineingelegt, sich leicht festklemmt, oder durch kurze leichte Kettchen, die, am unteren Teil des Wagenvorderteils angreifend, mit ihrem anderen Ende durch einen leicht lösbaren Keilverschluß an dem Seil festgeklemmt werden.

Bei Förderung mit Kette oder Seil ohne Ende machen alle Abweichungen vom geradlinigen Verlauf der Förderstrecken Schwierigkeiten. Das Durchfahren von Winkeln erfordert die Anbringung von besonderen Einrichtungen, wie Kurvenrollen, Seilträger u. a. Deren Einbau verteuert die Anlage und gibt trotz der heute erreichten Vollkommenheit doch keine unbedingte Sicherheit gegen die Neigung der Grubenwagen, gerade an diesen Winkelpunkten zu entgleisen. Man sucht daher die Zahl der Kurven möglichst zu beschränken. — Der große Vorzug dieser beiden mechanischen Förderungsarten gegenüber Lokomotivförderung liegt darin, daß sie eine vorzügliche Gleichmäßigkeit der ganzen Förderung ermöglichen. Lokomotiv- wie Pferdeförderung schaffen ganze Züge von Grubenwagen gleichzeitig zum oder vom Schacht und häufen damit das Maß der an den Endpunkten der Bahn zu leistenden Arbeit auf einzelne Zeitpunkte, bedingen überdies weite, kostspielige Streckenräume für die Aufstellung der Züge, „Bahnhöfe". Daher ist denn die Lokomotivförderung im Braunkohlenbergbau verhältnismäßig selten und auf diejenigen Fälle beschränkt, in denen stärkere Leistungen, als mit Pferdeförderung auf rationelle Weise erreichbar, zu bewältigen sind und dies in stark gewundenen Strecken geschehen muß. In höherem Maße als elektrischer Antrieb steht bei den Lokomotiven im Braunkohlenbergbau solcher durch Spiritus-, Benzin- oder Benzolmotoren in Anwendung.

Bei Stollengruben bringen Menschen, Pferde oder maschinelle Streckenförderung die mit Braunkohle gefüllten Grubenwagen unmittelbar bis zu Tage. Tiefbauanlagen bedürfen hierzu einer Schachtförderanlage. Mit einer Ausnahme, in der ein Becherwerk die Schachtförderung versieht, besteht diese aus Fördergestellen („Förderkörben"), mittels deren die daraufgeschobenen Grubenwagen durch Maschinenkraft zutage gehoben werden. Die Fördermaschinen arbeiten in der Regel unmittelbar auf die Welle der Trommel, welche die Gußstahldrahtseile auf- und abwindet, an denen die Fördergestelle hängen. Die geringe Förderteufe der meisten Braunkohlenbergwerke läßt eine große Fördergeschwindigkeit nicht zu. Infolgedessen sind bei kleineren Braunkohlentiefbaubetrieben öfters auch noch Fördermaschinen anzutreffen, welche durch Vorgelege — also indirekt — die Seiltrommel antreiben, sei es nun, daß Dampf oder Elektrizität als Kraftquelle wirkt. Der letzteren wird im Braunkohlenbergbau bei Fördermaschinen allmählich mehr und mehr der Vorzug gegeben.

DIE GEFAHREN IM BRAUNKOHLENBERGBAU. Die Tätigkeit der Bergleute — sowohl der Kohlenhäuer wie der Förderleute — vollzieht sich durchweg in verhältnismäßig weiten Räumen. Der Querschnitt der Strecken ist im allgemeinen ein solcher, daß Menschen sie in annähernd aufrechter Haltung mehr oder weniger bequem passieren können. Nur in der unmittelbaren Umgebung der Abbaubrüche sind die Streckenenden durch den hier in Wirksamkeit tretenden Gebirgsdruck so zusammengepreßt, daß man sie meist nur in gebückter Stellung benutzen kann. In den Brüchen selbst hat der Kohlenhauer wieder Raum genug, um seine Arbeit aufrechtstehend zu verrichten.

Die Versorgung der Braunkohlenbergwerke mit frischer Luft — die Wetterwirtschaft — begegnet bei dieser Sachlage keinen nennenswerten Schwierigkeiten. Den frischen wie den verbrauchten Wettern braucht daher bei kleineren Betrieben nur ein kontinuierlicher Zu- und Abströmweg gewiesen zu werden. Die Bewegung dieses einheitlichen Luftstroms kann oft dem natürlichen Druckunterschied an den verschieden hochgelegenen Ein- und Ausströmöffnungen (Stollen oder Schächte) überlassen werden. Bei weitverzweigten Grubenräumen genügt dieser natürliche Wetterzug indes nicht mehr. Entweder bedarf er wenigstens in einzelnen Grubenteilen einer Unterstützung durch maschinelle Bewetterung — örtliche Bewegung des Wetterzuges — durch Wasserstrahlapparate oder kleinere Ventilatoren mit Hand-, Wasser- oder elektrischem Antrieb, „Sonderbewetterung", oder aber der gesamte Luftstrom wird durch einen Hauptventilator in das Bergwerk hineingepreßt oder aus ihm herausgesaugt. Die saugende Methode ist zwar die am meisten in Anwendung befindliche, aber gerade der Braunkohlenbergbau läßt auch öfters blasende Grubenventilation zweckmäßig erscheinen.

Die Abmessungen der Ventilatoren halten sich beim Braunkohlenbergbau in der Regel in mäßigen Grenzen, da im allgemeinen nur dafür Sorge getragen werden muß, daß die Grubenluft in dem Maße erneuert wird, wie sie durch die Ausdünstung von Menschen und Pferden, durch die Zersetzung von Holz und anderen Materialien, sowie durch die von den Druckverhältnissen abhängige Temperatursteigerung für die Atmung unbrauchbar wird.

Explosionsfähige Gase entströmen der Braunkohle nicht. Wohl aber tritt manchenorts Kohlensäure aus ihr in solchen Mengen aus, daß daraus für die Bergleute eine Belästigung entsteht und durch kräftigen Wetterstrom für eine gehörige Verdünnung sowie Ableitung Sorge getragen werden muß. Die noch nach alter Art mit Rüböl gespeisten Grubenlichter zeigen durch schlechtes Brennen deutlich jede bedenkliche Kohlensäureentwicklung an, mahnen den Bergmann zur Vorsicht und regen den Betriebsleiter zu gesteigerter Wetterzufuhr an.

Die neuerdings mehr und mehr sich einbürgernden Azetylenlampen bieten diesen Vorteil zwar nicht, beugen aber infolge der sehr viel stärkeren Lichtentwicklung Unfällen, die durch andere Ursachen, insbesondere das Herabfallen loser Kohlenstücke, geschehen können, wirksam vor. Da Unfälle dieser Art dem Braunkohlenbergmann in weitaus stärkerem Maße drohen als solche durch Kohlensäureentwicklung, so ist die in neuerer Zeit im Braunkohlenbergbau mehr und mehr gebräuchlich werdende Verwendung der Azetylenbeleuchtung nur mit Freuden zu begrüßen.

Wegen der aber immerhin hier und da in Braunkohlenbergwerken bedrohlich auftretenden Kohlensäureentwicklung erscheint auch bei diesem sonst durch giftige Gase wenig gefährdeten Bergbau die Bereithaltung von Rettungseinrichtungen, insbesondere solchen zur Wiederbelebung (Sauerstoffapparaten), geboten.

Sie wird zu einer bedauerlichen Notwendigkeit überdies noch bei solchen Bergwerken, deren Braunkohle zur Selbstentzündung neigt. Dies ist bei sehr vielen Braunkohlenvorkommen der Fall und beruht zum Teil wohl auf einigem Schwefelkiesgehalt dieser Braunkohlen. Bei der Bloßlegung der Braunkohle in der Grube zersetzen sich der Schwefelkies wie auch andere Stoffe, oder Bestandteile der Braunkohle selbst verändern sich durch Sauerstoffaufnahme. Die bei diesen Vorgängen entwickelte Wärme steigert sich gelegentlich bis zur Entzündung der Braunkohle, insbesondere dann, wenn die Grubentemperatur infolge starken Gebirgsdruckes an sich schon eine hohe ist.

Die Bekämpfung der hierdurch entstehenden Grubenbrände erfordert einerseits in hohem Maße Vorsicht und Aufopferungsfähigkeit der Bergleute, da die Brandgase die notwendigen Arbeiten sehr erschweren und gefährlich machen. Anderseits bedarf es eines tatkräftigen und umsichtigen Eingreifens der Betriebsleitung, um den Brand möglichst auf seinen Herd zu beschränken und das Brandfeld dicht gegen die Grubenräume abzuschließen. Zur Bekämpfung von Grubenbränden sollten auch auf Braunkohlengruben sowohl Materialien, welche zur Eindämmung von Bränden gebraucht werden, als auch Sicherheitsapparate, welche das Arbeiten in Brandgasen erlauben, stets bereitgehalten werden.

In besonderem Maße bringen die lockere Beschaffenheit und die Wasserführung der die Braunkohle überlagernden Schichten dem Braunkohlenbergbau Gefahr. Verfährt der Bergmann beim Ausbau der unterirdischen Hohlräume, die er hier schafft, insbesondere beim Abbau, nicht aufs äußerste vorsichtig, so brechen gar leicht die nassen lockeren Massen durch, und ergießen sich in die unterirdischen Hohlräume. Vielfach erfolgten solche Durchbrüche so plötzlich und heftig, daß die Bergleute sich nicht rechtzeitig in Sicherheit bringen konnten und ihr Leben lassen mußten. Durch zweckmäßige Anordnung von Schutztüren, durch Bereithaltung von Material zur schnellen Herstellung von Schutzdämmen, sowie endlich durch die Anlage besonderer, tief gelegener Strecken, denen die Sand- und Schlammassen zuzufließen gezwungen werden, sucht man dieser stärksten Gefahr, die den unterirdischen Braunkohlenbergbau bedroht, entgegenzuarbeiten.

DIE BRAUNKOHLENGEWINNUNG IM TAGEBAU. Das Blühen der deutschen Braunkohlenindustrie beruht ganz wesentlich darauf, daß ausgedehnte und mächtige Vorkommen von Braunkohlen bereits in ganz geringer Tiefe unter der Erdoberfläche anstehen (Abbildung 21). Es brauchen nur die daraufliegenden lockeren Massen fortgeräumt zu werden, dann kann die Braunkohle in steinbruchartigen Betrieben — Tagebauen — abgebaut werden (siehe Tafel I). Da, wo die Kohle rein und daher abbaufähig ist, kann sie beim Tagebaubetrieb fast restlos gewonnen werden: es entsteht kaum ein Abbauverlust, während dieser, wie wir sahen, beim unterirdischen Betrieb in der Regel einen beträchtlichen Prozentsatz ausmacht. Der Tagebaubetrieb gestattet infolgedessen eine sehr viel gründlichere Ausnutzung unseres nationalen Braunkohlenschatzes als der Tiefbau. Allein schon dadurch, daß sich wegen des Fehlens von Abbauverlusten die Generalunkosten auf das ganze vorhandene Kohlenquantum verteilen, werden die Gewinnungskosten günstig beeinflußt. Die Selbstkosten erreichen aber auch ohnehin beim Tagebau nicht annähernd die Höhe, welche bei bergbaulichem Betrieb entsteht, und geben daher dem unter freiem Himmel gewonnenen Produkt eine überlegene Wettbewerbskraft.

Während stärkere Braunkohlenlager bei unterirdischem Abbau, wie wir sahen, nur in einzelnen Scheiben von je 4—5 m Höhe hereingewonnen werden dürfen, gestattet der Tagebau die Inangriffnahme von 30, 40 und mehr Meter hohen Arbeitstößen. Er stellt dem Techniker hauptsächlich die Aufgabe, für billiges Loslösen und Beseitigen großer Massen — sowohl der Braunkohle wie ihrer lockeren Bedeckung, des Abraums — zu sorgen.

Die Entfernung des Abraums geschieht heutzutage überwiegend durch Baggerarbeit, und zwar durch sogenannte Eimerbagger, die, auf Schienengleisen am Rande des Tagebaues entlang fahrend, diesen Rand durch Abheben der Sand- und Geröllmassen in dem Maße erweitern, als der nachfolgende Abbau der durch den Bagger entblößten Braunkohle dies wünschenswert erscheinen läßt (Tafel I). Die an einer



Abbildung 21. Braunkohlentagebau. Grube Hedwig bei Wildschütz, Provinz Sachsen.

Kette über den Abraumstoß geführten Baggereimer graben sich mit einer Schneide so weit in die losen Massen ein, daß sie sich damit füllen, und entleeren ihren Inhalt ständig in einen Füllrumpf, der mit dem Bagger fest verbunden ist und mit ihm am Tagebaurand entlang fährt. Aus dem Füllrumpf werden möglichst ununterbrochen Kieswagen beladen, die zu Zügen verbunden und von Lokomotiven (Dampf oder Elektrizität) fortgeschafft werden. Die Kieswagen sind mit Einrichtung zur leichten Entleerung versehen. Sie schütten ihren Inhalt entweder zu mächtigen Halden an Stellen auf, unter denen eine Braunkohlengewinnung nicht in Frage kommt, oder werfen bei bereits fortgeschrittenem Betriebe den Abraum in die ausgekohlten Teile des Tagebaues hinein. Sind die Abraummassen sehr mächtige, so werden mehrere Bagger auf verschiedenen in sie hineingeschnittenen Etagen übereinander angeordnet. Beim Baggerbetrieb hängen Effekt und Kosten ganz wesentlich davon ab, daß die Ab- und Zufuhr der Kieswagen in flotter Weise erfolgt und der Bagger möglichst stetig arbeiten kann. Ist das der Fall, so lassen sich mit einem Bagger durchschnittliche Tagesleistungen bis zu 1500 cbm und wohl auch noch mehr erzielen, bei Unkosten, die einschließlich Tilgung und Verzinsung der Baggeranlage bis auf etwa 25 Pf. pro cbm gebracht werden können.

Diese Unkosten für den Abraum stellen den weitaus größten Faktor in der Selbstkostenberechnung beim Tagebaubetrieb dar. Dessen Rentabilität oder gar Anwendbarkeit hängt deswegen vorwiegend von dem Verhältnis zwischen der Mächtigkeit der Kohle einerseits und dem darauf lagernden Abraum anderseits ab. Ist die Kohle mächtiger als der über ihr lagernde Abraum, so steht die Zweckmäßigkeit des Tagebaubetriebes außer Zweifel. Überwiegt indessen der Abraum an Masse die Kohle, so

bedarf es genauester Rechnung, um zu entscheiden, welche Gewinnungsart die billigere sein wird. Neuerdings gewinnt man dem Tagebau in höherem Maße Vorteile ab, als früher eingesehen wurde, und ist daher geneigt, ihm selbst dann noch den Vorzug zu geben, wenn der Abraum anderthalb- bis zweimal so dick ist wie die Kohle. Bei solchem Verhältnis zwischen Kohle und Abraum spielen jedoch örtliche Umstände die entscheidende Rolle, und von ihnen wird es schließlich abhängen, ob der Tagebau sich billiger stellt als der Bergwerksbetrieb.

Die Hereingewinnung der Braunkohle erfolgt in Tagebauen im sogenannten Schurrenbetrieb. Als Schurren werden hier die trichterförmig nach unten sich verengenden Ausweitungen bezeichnet, welche beim Loshacken der Braunkohle aus der vollen Masse allmählich herausgearbeitet werden. Die Schurren erhalten entweder nach der offenen Seite des Tagebaues hin einen Schlitz, durch den die losgehackte Kohle heraus und unmittelbar in Grubenwagen fällt, oder aber der Schurrentrichter bleibt ringsum geschlossen und endet an seiner nach unten zeigenden Spitze in ein senkrechtes Rolloch. Dieses führt zu einer von der offenen Seite des Tagebaues unter die Schurre hinuntergetriebenen Strecke (Abbildung 21) und ist hier mit einer Klappe verschlossen, aus der die Kohle in Grubenwagen abgefüllt wird. Das Rolloch wird durch Hochbohren von der Strecke aus zuerst hergestellt. Durch Forthacken der Kohle um sein oberes Ende herum entsteht allmählich der Schurrentrichter. Dieser wird so lange erweitert, bis seine Böschung eine derart flache wird, daß die losgehackte Kohle darauf nicht mehr leicht herabrollt. Die Rollochabstände werden so bemessen, daß dies erst dann der Fall, wenn die Trichter bis fast auf die Strecke hinab vertieft worden sind. Die alsdann zwischen den Trichtern noch anstehenden Kohlenreste, „Rippen“ (Abbildung 21), werden von Hand dadurch gewonnen, daß die Kohle losgehackt und mit Schaufeln in Grubenwagen gebracht wird. Daher spricht man wohl von Schaufelbetrieb im Gegensatz zum Schurrenbetrieb. Da beim Schurrenbetrieb die Kohle nur losgehackt zu werden braucht und von selbst in die Grubenwagen rollt, so stellt sich bei diesem die Gewinnung der Braunkohle natürlich sehr viel billiger als beim Schaufelbetrieb. Die Leistung ist beim Schurrenbetrieb eine so außerordentlich hohe, und deswegen sind dabei die Selbstkosten derart geringe, daß ein Ersatz der Menschenarbeit durch Maschinenkraft bei unseren heutigen Lohnverhältnissen schwerlich noch eine nennenswerte Verbesserung wird herbeiführen können.



Abbildung 22. Maschinelle Braunkohlengewinnung. (Kohlenhauer von Muth-Schmidt.) Grube Grefrath bei Köln.

Die bisherigen Bemühungen, Braunkohle in Tagebauen mittels mechanischer Hilfsmittel zu gewinnen, haben



Tagebau der Braunkohlengruben-Gesellschaft Ilse in der Lausitz.

Zu Macco: Vorkommen und Gewinnung von Kohle und Torf.



Abbildung 23. Maschinelle Braunkohlengewinnung auf dem Gruhlwerk bei Brühl.

auch weniger das Ziel im Auge gehabt, die Schurrengewinnung an Billigkeit zu übertreffen, als vielmehr den dem Schurrenbetrieb nachfolgenden Schaufelbetrieb durch eine billigere maschinelle Gewinnung zu ersetzen, oder dort, wo die gesamte Gewinnung maschinell betrieben werden soll, grundsätzlich Menschenarbeit nach Möglichkeit auszuschalten, die Werke unabhängiger von den Arbeitern zu machen. Von Apparaten, welche die Handarbeit des Menschen ganz ausschalten, stehen gegenwärtig zwei in Anwendung: der Kohlenhauer von Muth-Schmidt (Abbildung 22) und die Lübecker Braunkohlen-Fräs- und Fördermaschine, Type Wischow. Beiden ist gemeinsam, daß rotierende Schneidewerkzeuge am Kohlenstoß systematisch auf und ab bewegt werden. Wenn diese beiden Einrichtungen auch mehr befriedigen als alle übrigen bisher für den in Rede stehenden Zweck konstruierten, so steht doch noch dahin, ob ihre Anwendung eine allgemeinere werden wird. Leichter zu lösen scheint das andere Problem, lediglich die beim Schurrenbetrieb übrigbleibenden Rippen durch mechanische Einrichtungen zu beseitigen. Hierfür ist seit einiger Zeit bereits mit gutem Erfolg ein zuerst auf dem Gruhlwerk bei Brühl angewandter Braunkohlenbagger besonderer Bauart auf mehreren Werken in Tätigkeit (Abbildung 23). Bei diesem wird eine mit Zähnen armierte Kette auf dem Kohlenstoß von oben nach unten bewegt und durch die Zähne die Kohle in kleinen Stücken abgerissen.

Bei den sämtlichen maschinellen Einrichtungen fällt die abgelöste Kohle am Kohlenstoß herunter auf die Sohle des Tagebaues. Hier wird sie durch Eimerbecherwerke hochgehoben und einem horizontal geführten Transportband zugeschüttet, welches die

Verteilung der Kohle auf Grubenwagen besorgt. In der allerletzten Zeit sind mit der versuchsweisen Verwendung von Löffel- oder Schaufelbaggern zur Gewinnung von Braunkohle in Tagebauen (Abbildung 24) so gute Ergebnisse erzielt worden, daß ein Vorurteil, welches bisher in Deutschland gegen diese in Nordamerika bereits lange in weitester Verbreitung stehenden Apparate gehegt wurde, im Schwinden begriffen ist. Binnen kurzem werden sechs Löffelbagger in deutschen Tagebauen Braunkohle bearbeiten.

Wie in der festen böhmischen Braunkohle die unterirdische Gewinnung etwas von derjenigen in den deutschen Revieren abweicht, so auch der Tagebaubetrieb. Auch hier läßt man die Kohle wie beim dortigen Tiefbau in mächtigen Klötzen hereinbrechen und führt durch die Wucht dieses Sturzes eine Zerkleinerung derselben herbei. Entlang der Abbauwand werden lange Längsstrecken und senkrecht dazu kurze Querstrecken derart angelegt, daß der Kohlenkörper darüber schließlich nur noch auf einer Anzahl von Kohlensockeln ruht (Abbildung 25). Von diesen werden so viele fortgesprengt, daß der Kohlenklotz herunterbricht (Abbildung 26). Wo in Böhmen gute Kohle stellenweise mit Lettenzwischenmitteln durchsetzt ist, muß anders verfahren werden. Von hohen Leitern aus hacken dann die Bergleute die Kohle bis zu einem Lettenstreifen fort und lassen sie in einem Schlitz im Abbaustoß in einen davorstehenden Wagen fallen. Dann wird die Lettenschicht entfernt und alsbald die darunterliegende nächste Kohlenlage gewonnen.



Abbildung 24. Maschinelle Braunkohlengewinnung durch Löffelbagger bei den Rositzer Braunkohlenbergwerken.

DIE WASSERBEWÄLTIGUNG IM BRAUNKOHLENBERGBAU. Infolge der Einbettung in lockere Schichten und der meist muldenförmigen Art der Ablagerung sind, wie wir sahen, die Braunkohlenlager und die auf ihnen ruhenden Sand- und Kiesmassen mehr oder weniger stark mit Wasser durchtränkt. Dem Abbau muß daher in der Regel eine systematische Entwässerung der Braunkohle und der hangenden Schichten vorangehen. Sie geschieht sowohl im Tiefbau wie im Tagebau durch Anlegung eines Netzes von Strecken am Liegenden des Lagers. Von diesen Strecken aus werden planmäßig Bohrlöcher in das Braunkohlenlager und das Hangende hineingetrieben. Durch sie soll nach bester Möglichkeit das Wasser aus der Braunkohle abgezapft werden. Diese Entwässerung macht leicht Schwierigkeiten: allein um zunächst nur bis zum Liegenden der wasserführenden Braunkohle durchdringen und hier das Streckennetz anlegen zu können, mußte gelegentlich selbst dort, wo der spätere Abbau im Tagebau erfolgen sollte, zu Gefrierschächten Zuflucht genommen werden.

Bei der Durchführung eines regelmäßigen Grubenbetriebes gilt es dann, die von der Erdoberfläche her nachfließenden Wassermengen zu bewältigen. Für die hierzu erforderliche **ständige Wasserhaltung** muß beim unterirdischen Braunkohlenbergbau beachtet werden, daß trotz der dem Abbau vorhergegangenen systematischen Entwässerung vielleicht noch einzelne „Wassersäcke" in den hangenden Schichten verblieben sind. Bringt der fortschreitende Abbau diese zum Einbruch in die Grube, so steigt die von den Wasserhaltungsmaschinen zu leistende Arbeit plötzlich erheblich. Die unterirdischen Wasserhaltungsmaschinen müssen daher reichlich bemessen werden, damit sie auch solchen Zufälligkeiten wirksam begegnen können. — Die vom Grubenwasser mitgerissenen feinen Sandteilchen und der oft saure oder salzige Charakter der Braunkohlengrubenwasser greifen die Wasserhaltungsmaschinen stark an. Deswegen müssen alle Teile, mit denen diese Grubenwasser in den Maschinen in Berührung kommen, möglichst aus bester Phosphorbronze bestehen oder wenigstens damit überzogen sein. Wasserhaltungsmaschinen, welche von der Erdoberfläche her durch Gestängepumpen wirken, werden heute in Braunkohlengruben kaum mehr angelegt, wenngleich sie die Möglichkeit am sichersten gewährleisten, daß der Wasserhaltungsbetrieb auch bei einem Ersaufen der Grube intakt bleibt. Ihrer sehr viel rationelleren und ökonomischeren Arbeitsweise halber dürften heutzutage bei Braunkohlengruben wohl nur noch **unterirdische** Wasserhaltungsanlagen angelegt werden. Allein schon wegen der Schwie-



Abbildung 25. Böhmischer Braunkohlentagebau (Richard bei Brüx) **vor** der Sprengung.



Abbildung 26. Böhmischer Braunkohlentagebau (Richard bei Brüx) **nach** der Sprengung.

rigkeiten, welche die lockeren Tertiärmassen dem Bau und der Instandhaltung der Pumpenräume darbieten, gibt man, um diese möglichst klein halten zu können, neuerdings in zunehmendem Maße elektrisch angetriebenen Hochdruck-Zentrifugalpumpen den Vorzug.

Abbildung 27. Braunkohlenbrikettfabrik.
Längsschnitt. Links: Naßdienst, rechts Trockendienst. Querschnitt.
Im Trockendiensthaus unten Pressenraum (4 Pressen), darüber 8 Röhrentrockner, zu oberst Brasenentstaubung und Kohlenboden.

DIE VERARBEITUNG DER BRAUNKOHLE. Braunkohle, welche als Rohkohle verfeuert werden soll, wird gewöhnlich in Sorten von verschiedener Größe der Stücke — des Kornes — zerlegt. Diese Scheidung, Separation, erfolgt durch Systeme von Sieben, über welche man die Förderkohle hinweggleiten läßt. Auf dem ersten Sieb werden die gröbsten Stücke abgeschieden, die Stückkohle. Von der Kohle, welche durch das erste Sieb hindurchfällt, wird auf dem folgenden die nächstgröbste Sorte abgetrennt usw. Für kleinere Anlagen genügen feststehende Siebe. Müssen dagegen größere Mengen separiert werden, so kommen maschinell bewegte Siebe in Anwendung. Am gebräuchlichsten sind sogenannte Schwingsiebe in einer Anordnung übereinander, daß die ganze Sieberei nur sehr wenig Bodenfläche in Anspruch nimmt. Die Schwingsieb-Systeme hängen entweder an einer Eisenkonstruktion, die in pendelnde Bewegung versetzt werden kann und dadurch die Kohle über die Siebe gleiten läßt, oder aber sie ruhen auf Gelenkstützen, welche es gleichfalls erlauben, die Siebe hin und her schwingen zu lassen.

Im manchen Bergwerken kann eine Separation der Braunkohle in Stückkohle, in eine gröbere und in eine feinere Nußkohle sowie in Fein- oder Gruskohle mit Erfolg und Nutzen vorgenommen werden. Die von der Feinkohle befreiten Sorten erzielen naturgemäß einen höheren Preis, als die Förderkohle ihn einbringt. Der Wert der Fein- oder Gruskohle ist dafür aber um



Abbildung 28. Kettenbahnen, aus einem Braunkohlentagebau zu den Brikettfabriken führend.

so geringer, und es bedarf sorgsamer Berechnung, ob sich ihre peinliche Abtrennung empfiehlt, oder ob nicht etwa durch Unterlassen der Sortierung oder durch eine weniger scharfe Separation ein besseres Geschäft zu machen ist. Von dem Maße, in dem eine Braunkohle aus gröberen Stücken besteht — dem Stückkohlenfall —, hängt ganz wesentlich ihr Wert ab. Wo dieser Stückkohlenfall gering ist oder die Kohle gar überwiegend aus feinkörnigem Material besteht, erfordert sie zur vollkommenen Verbrennung und Ausnutzung in technischen Betrieben, insbesondere bei Dampfkesseln, eigenartige Feuerungsanlagen, sogenannte Treppenroste, welche eine etwaige Verwendung von Steinkohle neben der Braunkohle ausschließen.

Für Hausbrandzwecke eignet sich eine stark aus Feinkohle bestehende Braunkohle nicht. Die Bestrebungen, sie in eine Form zu bringen, welche sie hierzu passender macht, begnügten sich lange Zeit hindurch damit, aus dem Feinmaterial unter Wasserzusatz durch Menschenhand gleichartige Stücke von verschiedener Gestalt (Formklötze, Trampelsteine, Klütten) herzustellen. Die an der Luft getrockneten Formlinge hatten einen etwas geringeren Wassergehalt als die Rohkohle und darum eine um ein weniges gesteigerte Heizkraft. Ein etwas besserer Zusammenhalt der Stücke wurde aber erst durch Anwendung einer Maschinenpresse erzielt. Nach Zerkleinerung auf gleichmäßiges Korn, gehöriger Vermischung mit Wasser und maschinellem Durchkneten wird die Masse durch eine Ziegelpresse, die Hertel-Schmelzersche Naßpresse, gedrückt. Von dem plastischen Austrag dieser Presse werden Steine von Ziegelsteingröße abgeschnitten und in ausgedehnten Trockenschuppen wie Lehmziegel getrocknet. Die hierdurch er-

zielten „Naßpreßsteine“ haben sich in der Provinz Sachsen im beschränkten Kreis um die Erzeugungsstätten herum als Hausbrand einen Markt erobert. Ist auch ihr Zusammenhalt ein besserer als bei den von Hand hergestellten Braunkohlenformlingen, so vertragen doch auch sie keinen längeren Bahntransport. Ihrer ausgedehnten Verwendung und derjenigen von gewöhnlicher Rohbraunkohle, namentlich im technischen Großverbrauch, steht der geringe, durch den hohen Wassergehalt bedingte Heizwert entgegen. Bei dieser geringen Heizkraft lohnt sich die Verfrachtung auf größere Entfernungen nicht.

Die Bemühungen, das Wasser aus der Braunkohle soweit als angängig zu entfernen und dem angereicherten Material gleichzeitig eine handliche Form zu geben, führten zur Brikettfabrikation und schufen damit erst die Grundlage für die heutige Stellung der Braunkohle auf dem Kohlenmarkt.

Für denjenigen Teil der Brikettfabrikation (Abbildung 27), welcher die grubenfeuchte Braunkohle behandelt, hat sich die Bezeichnung „Naßdienst“ eingebürgert. Alle Manipulationen, die sich dagegen mit der bereits getrockneten Kohle beschäftigen, werden als „Trockendienst“ zusammengefaßt.

Die Rohkohle wird gewöhnlich durch Kettenbahnen in Grubenwagen auf die höchste Etage des Naßdiensthauses gebracht (Abbildung 28). Kreiselwipper entleeren sie hier in Füllrümpfe (Abbildung 29). Größere Stücke fester lignitischer Kohle oder von



Abbildung 29. Kohlenverteilungsboden über dem Naßdiensthaus einer Braunkohlenbrikettfabrik.



Abbildung 30. Röhrentrocknerboden einer Braunkohlenbrikettfabrik.

Grubenholz werden durch eiserne Roste zurückgehalten oder durch besondere Stachelwalzen klein gebrochen.

Im Naßdienst wird im wesentlichen eine Zerkleinerung der Förderkohle durch verschiedenartige Apparate in ein Produkt von höchstens 10 mm Korngröße vorgenommen. Dieses erst ist für den Trockendienst geeignet. Durch ein Becherwerk wird es hochgehoben und im Trockendiensthaus über einen Vorratsboden verteilt (Abbildung 27). Unmittelbar unter diesem stehen die Trockeneinrichtungen. Davon sind zwei Systeme in Brauch: Dampftelleröfen und Röhrentrockner. Bei den Dampftelleröfen sind um eine senkrechte Achse eine größere Zahl (bis etwa 30) kreisrunde Teller mit geringem Zwischenraum übereinander befestigt. Jeder Teller hat einen durch Dampf heizbaren Boden. Über jede Tellerfläche bewegt sich ein Arm mit schaufelförmigen Ansätzen (Rührwerk), welche die auf dem Teller in dünner Schicht aufgetragene Brikettierkohle stetig umwenden und zugleich fortschaufeln, so zwar, daß die Kohle auf einem Teller vom Mittelpunkt zum Rand bewegt wird, hier durch ein Loch auf den darunterliegenden Teller fällt und auf diesem umgekehrt von der Peripherie zum Zentrum wandern und dort den Teller verlassen muß. — Die Röhrenapparate (Abbildung 30) bestehen aus dampferfüllten Kesseln, welche ähnlich den Lokomotivkesseln von einem Bündel von geraden Längsrohren durchzogen werden, die an den Stirnseiten der Kessel offen enden. Die Kessel sind schrägliegend und an einer Achse drehbar angeordnet. An der höhergelegenen Seite wird den durch den Kessel gehenden Rohren Feinkohle zu-

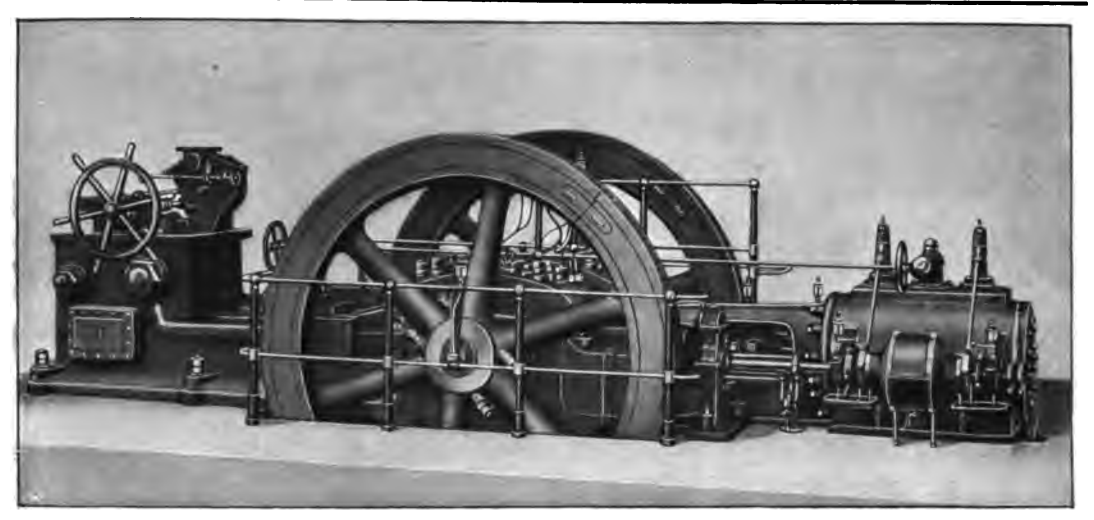


Abbildung 31. Moderne Braunkohlenbrikettpresse.

geführt. Diese bewegt sich infolge langsamen Rotierens des ganzen Apparates allmählich in schraubenförmigen Windungen in jedem Rohre zu dem tiefergelegenen Kesselende. — Die heizbare Oberfläche dieser beiden Apparatetypen, die Temperatur des Heizdampfes, sowie die Umdrehungsgeschwindigkeit des Rührwerks und der Rohrapparate müssen mit dem Charakter, insbesondere dem Wassergehalt der Brikettierkohle derart in Einklang gebracht werden, daß diese die Apparate in genügend getrocknetem Zustande verläßt. Das ist der Fall, wenn sie etwa noch 12—15% Wasser enthält. Soviel Wasser muß aber in der Kohle verbleiben. Nur dann ist sie brikettierfähig. Das übrige Wasser der Rohkohle entweicht in Dampfform aus den Trockenapparaten. Der Abführung dieses „Brasens" dienen Schornsteine von weitem Querschnitt, welche für das Äußere einer Brikettfabrik so charakteristisch sind (Tafel I).

Die Formgebung erfolgt beim Brikettieren noch heute in der nämlichen sogenannten Exterschen Presse, mit deren Hilfe zuerst vor annähernd 40 Jahren brauchbare Braunkohlenbriketts hergestellt worden sind. Immerhin ist die Maschine im Laufe der Zeit wesentlich verbessert und vollkommener gemacht worden, so daß ihre neuen Typen ungleich sicherer und billiger arbeiten als die älteren (Abbildung 31).

Die Presse besteht einerseits aus einer Dampfmaschine (Abbildung 31, rechts), welche den starken, zur Kompression der Feinkohle notwendigen Druck mittels eines in der Horizontalen abwechselnd vorgestoßenen und dann wieder zurückgezogenen Stempels ausübt, sowie anderseits aus dem Preßkopf (Abbildung 31, links), in welchem der Stempel die Kohle zum Brikett zusammendrückt.

Diese Arbeit des Preßstempels erfolgt in der sogenannten Preßform, einem Hohlraum, der in horizontaler Richtung durch den Preßkopf hindurchgeht. In ihn fällt durch einen senkrechten Kanal die getrocknete Kohle von oben herein. Der ganz schwach konische Hohlraum hat den charakteristischen Querschnitt der Briketts, verengt sich jedoch erst in demjenigen Teil, bis zu welchem der Stempel nicht vordringt, zu der wirklichen Größe des Brikettumfanges. Diese geringe allmähliche Verengung — die sogenannte Schwalbung — hindert die Kohle beim Vorschub des Preßstempels, ihm glatt nachzugeben. Der durch die Schwalbung auf der einen Seite geleistete Widerstand genügt zusammen mit dem hohen Druck von 1200—1500 Atmosphären, den der

Preßstempel von der anderen Seite ausübt, um die Kohle zum Brikett zu komprimieren. Die Bildung von Briketts gelingt nur dann, wenn die Kohle einen gewissen Gehalt an Bitumen hat. Etwa 2% müssen davon vorhanden sein. Diese Kohlenwasserstoffe wirken bei dem zur Anwendung kommenden hohen Druck wie ein Klebemittel, ein Kitt. In Verbindung mit dem Rest Wasser, der in der Kohle verbleiben muß, verbinden sie die Kohlenteilchen miteinander.

Der in die Schwalbung sich vorschiebende und hier das Brikett erzeugende Stempel verschließt dabei den senkrechten Kanal, welcher der Form von oben die Kohle zuführt. Nach vollendetem Hub gibt er beim Zurückgleiten dessen Mündung frei, und nun füllt sich die Höhlung der Form zwischen dem fertiggebildeten Brikett einer- und dem Preßstempel anderseits wieder mit getrockneter Kohle. Bei neuem Vorschub des Preßstempels wirkt auf der anderen Seite dann nicht mehr allein die Schwalbung als Widerstand, sondern auch das nun darinsteckende fertige Brikett, ja bei fortgesetztem Pressen die ganze Reihe der dicht aneinanderliegenden Briketts, der ganze Strang von Hunderten in einer Rinne vom Preßkopf bis zum Lagerschuppen oder zur Verladestelle reichenden Briketts. Dieser Strang von Briketts wird durch jeden Vorschub des Preßstempels, bei der Bildung eines jeden neuen Briketts ruckweise um die Dicke eines solchen weitergeschoben.

In einer großen modernen Brikettfabrik sind die Trockenapparate auf einer höheren Etage (Abbildungen 27 und 30), die Brikettpressen zu ebener Erde in langer Reihe nebeneinander angeordnet (Abbildungen 27 und 32). Die meisten der in den letzten Jahren errichteteten Neuanlagen haben gleich mit 6, 8 auch 10 Pressen begonnen. Während diese in den neunziger Jahren noch durchschnittlich 70 bis 72 Umdrehungen und dementsprechend ebensoviele Briketts in einer Minute machten, machen moderne Pressen bis 120 Umdrehungen, erlauben also eine um 50 bis 60% gesteigerte Leistung.

Für den Antrieb aller Apparate und Maschinen, auch für den nötigen Heizdampf der Trockenapparate bedarf die Brikettfabrik einer bedeutenden Dampfkessel- und Maschinenanlage. Bei einigen Neuanlagen ist man dazu übergegangen, die Apparate, soweit dies geht und rationell ist, in allerletzter Zeit sogar die Pressen mit elektrischem Antrieb zu versehen. Welches Maß an Kraft bei der Brikettfabrikation angewandt werden muß, wird dadurch in das rechte Licht gesetzt, daß von der im rheinischen Braunkohlenbezirk zur Herstellung eines Doppelwaggons Briketts benötigten Kohlenmenge von rund 500 hl etwa 350 hl in Briketts übergeführt, 150 hl aber für Kesselfeuerung gebraucht werden. Allgemein kommen etwa $^{2}/_{3}$ bis $^{3}/_{5}$ auf Brikettkohle und $^{1}/_{3}$ bis $^{2}/_{5}$ auf Kesselkohle, also in jedem Fall auf die Krafterzeugung ein beträchtlicher Prozentsatz.

Aus der Feinkohle, welche zur Brikettfabrikation nötig ist, wirbelt bei ihrer Herstellung und Trocknung, beim Transport und bei der Verarbeitung in weitgehendem Maße Kohlenstaub auf. Auf allen Flächen der Gebäude, Apparate und Maschinen setzt er sich ab. Jeder Windstoß fegt ihn wieder auf und erfüllt mit seinen feinen Teilchen die Luft. Dieses Gemisch von Kohlenstaub und Luft ist leicht entflammbar und gelegentlich gar explosibel. Darum muß jegliches Hantieren mit offenem Licht in einer Brikettfabrik unbedingt unterbleiben.

Trotz der strengsten Maßregeln zur ständigen Beseitigung des Staubes und zur Verhütung seiner Entzündung lassen sich Entflammungen und Explosionen von Braunkohlenstaub in Brikettfabriken doch leider nicht völlig vermeiden. In den meisten Fällen haben sie ihre Ursache darin, daß sich Braunkohle in irgendeinem Apparat von selbst entzündet und die hierbei entstehende Glut sich auf den Kohlenstaub überträgt. Eine Reihe schlimmer Unglücke, bei denen durch die Gewalt der



Abbildung 32. Pressenraum einer Braunkohlenbrikettfabrik.

Explosion Brikettfabrikgebäude auseinandergesprengt, ihr Inhalt demoliert und überdies auch noch Menschen getötet und verwundet wurden, haben zu umfangreichen Maßnahmen geführt, welche die Verhütung, Beseitigung und Unschädlichmachung des Brikettierstaubes zum Ziele haben. Sie gipfeln in der Hauptsache darin, daß der Kohlenstaub an denjenigen Stellen, wo er am stärksten in die Erscheinung zu treten pflegt, abgesaugt und auf verschiedene Weisen niedergeschlagen wird. Besondere Sorgfalt muß überdies darauf verwandt werden, den vom Brasen aus den Trocknungsapparaten mitgerissenen Kohlenstaub niederzuschlagen, da er gar leicht mit dem Brasen in die Luft steigt und für die Umgebung der Brikettfabriken eine recht unangenehme Belästigung bildet (Abbildung 27).

Das Hauptprodukt der Brikettfabrikation ist das Hausbrandbrikett. Es wird in der allbekannten Form in verschiedenen Größen hergestellt. Seine Heizkraft und Handlichkeit haben ihm im Fluge eine große Beliebtheit verschafft. Daneben gewinnen auch die sogenannten Industriebriketts in Würfeln, ovaler oder auch runder Form stetig an Absatz. Mit einem ungefähr auf das Doppelte der Rohkohle gesteigerten Heizwert (4600—5400 W. E.) sind die Briketts in ganz anderem Maße als die Rohbraunkohle wettbewerbsfähig und haben infolgedessen sehr ausgedehnte Marktgebiete. Lausitzer Briketts versorgen Berlin, sächsische München mit Hausbrand. Rheinische Briketts können so billig hergestellt werden, daß sie bis nach Halberstadt hin kon-

kurrenzfähig sind. Industriebriketts eignen sich für manche technische Verwendungszwecke, z. B. Heizgasgeneratoren, so vorzüglich, daß sie selbst im Herzen des westfälischen Steinkohlenbezirks stark Absatz finden. Neuerdings ist es auch gelungen, Industriebriketts solcherart zu vergasen, daß das Gas zum Betrieb von Gasmotoren geeignet ist. Von Braunkohlengasmotoren getrieben, fährt seit kurzem auf unserem schönen Rhein der erste große rauchlose Dampfer und gibt Zeugnis davon, daß die junge Braunkohlenindustrie emsig an der Arbeit ist, mit Hilfe des Briketts ihren Markt ständig zu vergrößern und zu erweitern.

Uber die auf der Schwelkohle beruhende Braunkohlenteer- und Olindustrie unterrichtet Abschnitt II dieses Bandes.

5. STEINKOHLE

DIE EIGENSCHAFTEN UND ARTEN DER STEINKOHLE. Was wir an Kohle in den älteren, vortertiären geologischen Formationen finden, hat, abgesehen von einzelnen Ausnahmen, steinkohlenartigen Charakter. Je nach ihrem Gehalt an Gas, das, wie wir oben sahen, vorwiegend aus Kohlenwasserstoffen besteht, verhält sich Steinkohle in der Hitze verschieden. Dies Verhalten ist bestimmend für die Brauchbarkeit der Steinkohlen zu den verschiedenen Verwendungszwecken. Am ärmsten an Gas, unter 10%, ist Anthrazit. Er ist schwer entzündlich, brennt mit kleiner blauer Flamme und entwickelt keinen Ruß. Deswegen ist er in erster Linie für Hausbrand geeignet. Magerkohle mit etwa 10—15% Gas entwickelt bei der Verbrennung hohe Heizkraft und dabei keinen Rauch, ist deswegen für Kesselfeuerung, in erster Linie für Schiffskessel, besonders gesucht. Die Kohlen von mittlerem Gasgehalt (Eßkohlen, Fettkohlen und Gaskohlen) backen zu einem mehr oder weniger porösen Kuchen zusammen, wenn ihr Gasgehalt im Laboratorium im Tiegel oder im Großbetrieb in Retorten durch Erhitzen unter Luftabschluß ausgetrieben wird. Soweit diese Backkohlen hierbei einen fest zusammenhängenden Rückstand — Koks — hinterlassen, dienen sie in bedeutendem Umfange zu dessen Herstellung im Großen und werden deswegen auch als Kokskohlen bezeichnet. Die Eßkohlen stehen auf der Grenze zwischen den nicht backenden Magerkohlen und den gut backenden Fettkohlen. Sie sind die heizkräftigsten Kohlen. Die Fettkohlen sind zu so mannigfachen Zwecken bestens brauchbar, daß sie ganz mit Recht gelegentlich als Universalkohle bezeichnet worden sind. Unter anderm geben sie auch eine ausgezeichnete Schmiedekohle ab. Bei hohem Gasgehalt dienen die Backkohlen als Gaskohlen vornehmlich der Gewinnung ihres Gases in den Leuchtgasfabriken. Kohlen mit sehr hohem Gasgehalt backen ebensowenig zusammen wie solche mit nur sehr wenig Gas. Sie entwickeln beim Verbrennen eine lange, stark rußende Flamme, die bei manchen Zwecken wegen ihrer sauerstoffverzehrenden Eigenschaft erwünscht ist. Als Gasflamm- und Flammkohlen gehen diese mit einem Gasgehalt von 40—50% gasreichsten Steinkohlen in die Welt.

Die Backfähigkeit der Kohlen, welche ausschlaggebend ist für ihren Platz in der genannten Reihe der Kohlenarten, wird aber auch von einigen anderen Faktoren, insbesondere ihrem Wasser- und Aschengehalt, stark beeinflußt. Das Maß des Gasgehalts ist nicht allein entscheidend. Deswegen hat es keinen rechten Sinn, für die Gasführung der Eßkohlen, Fettkohlen und Gaskohlen Grenzgehalte anzugeben, wie es nur zu häufig in der Literatur geschieht. Der Aschengehalt beträgt selbst in den besten Kohlen noch wenigstens 1,5%, liegt bei guten Kohlen in der Regel zwischen 4 und 5%. Geht er über 10% hinaus, so hört gewöhnlich die Brauchbarkeit der Kohle

auf. Von den mit dem höchsten Heizeffekt ausgestatteten Eßkohlen — bis 8800 W. E. — geht dieser Heizeffekt im Anthrazit etwa auf 8200 W. E. und auf der anderen Seite in den Flammkohlen bis zu 6800 W. E. herab.

Die Unterschiede im Gasgehalt der Steinkohlenarten beruhen, wie wir oben bereits erfahren haben, ganz wesentlich auf der Art der Urstoffe, welche an der Kohlenbildung beteiligt waren. Daneben aber kann der Gasgehalt auch beeinflußt worden sein durch die Bewegungen, welche die Steinkohlenflöze in der Erdkruste mitmachen mußten: hochgehobene Partien konnten, wenn sie unter keiner oder geringer Bedeckung durch jüngere Materialien liegen blieben, einen Teil ihres Gasgehalts abgeben, während den in die Tiefe versunkenen Flözschollen durch eine starke Überdeckung die Möglichkeit zu entgasen genommen war. Das Maß der Zerklüftung in den gestörten Flözteilen spielt hierbei eine starke Rolle mit. Die Steinkohlenarten, welche wir heute in den verschiedenen Bezirken finden, sind also ein Produkt der Ursprungsstoffe und der Umbildungen, welche die heute sie bergenden Teile der Erdkruste erlitten haben.

DIE HAUPTSACHLICHSTEN STEINKOHLENVORKOMMEN. Betrachten wir nunmehr kurz, welcher Art die Steinkohlenvorkommen sind, die heute eine mehr als nur lokale wirtschaftliche Bedeutung haben. Ihnen allen ist gemeinsam, daß sie — im Gegensatz zu den Braunkohlenvorkommen der Tertiärzeit mit ihren wenigen, aber meist sehr mächtigen Flözen — in der Regel eine große Zahl relativ dünner Kohlenflöze übereinander aufweisen. Mächtigkeiten von 1,5—2 m gelten überall als sehr befriedigende. Solche von über 2,5 m sind ungewöhnlich vorzüglich. Wo starke Nachfrage nach Kohlen herrscht, lassen sich anderseits bei günstigen unterirdischen Verhältnissen auch Flöze von 40 und 25 cm Dicke noch mit Nutzen gewinnen.

Wie von den tertiären Braunkohlenlagern, so sind auch von den Steinkohlenflözen nur noch die Reste von früher sehr viel ausgedehnteren Bildungen auf uns gekommen. Auch bei den Steinkohlenflözen haben sich die bei Bewegungen in der Erdkruste beckenartig versunkenen Teile am besten der Zerstörung entziehen können (Abbildung 10). Diese eingesunkenen Partien sind im Laufe der Äonen so mannigfach verbogen und zerrissen worden, daß innerhalb der einzelnen Steinkohlenbecken die Flöze auch vielfach nochmals zu steilen Sätteln aufgefalten und die durch Risse getrennten Lappen gar übereinandergeschoben worden sind (Abbildung 33).

Von den deutschen Steinkohlenbecken steht das oberschlesische mit seiner Produktion zwar heute noch an zweiter Stelle, aber in seinem Kohlenreichtum übertrifft es wohl alle bisher bekannten Vorkommen der Welt. Es bildet in der Hauptsache eine weite nach Süden geöffnete Mulde, deren Rand im großen Bogen von Ratibor über Tost, nördlich von Tarnowitz vorbei über die russische Grenze hinüber auf Siewierz zu und von hier nach Südosten hin verläuft. Im zentralen Teil dieses weiten Beckens liegen die Steinkohlenflöze wahrscheinlich rund 3000 m tief, also in einer Teufe, in der ihre Ausbeutung wohl niemals in Frage kommen wird. Eine solche kann nur an den höher gelegenen randlichen Partien statthaben. Innerhalb der Randzone hat auf österreichischem Gebiet um Mährisch-Ostrau herum eine Einkesselung und auf deutschem Boden um die Orte Zabrze, Königshütte und Laurahütte herum eine Aufwölbung der Flöze stattgefunden. Diese beiden Stellen, die Ostrauer Mulde und der Königshütter Hauptsattel, sind vornehmlich Sitz des oberschlesischen Steinkohlenbergbaues. In dem Hauptsattel auf preußischem Gebiet liegt die Steinkohlenformation unter nur geringer Bedeckung lockerer, wassererfüllter diluvialer Massen, der sogenannten Kurzawka. Von dem von West nach Ost länglich

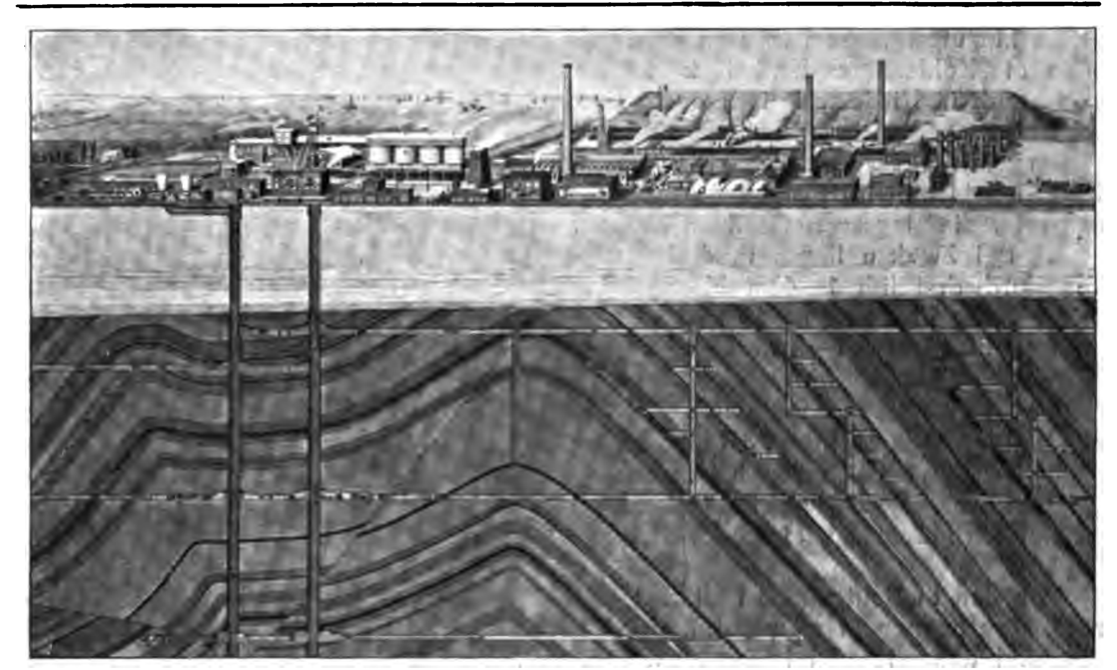


Abbildung 33. Querschnitt durch die Steinkohlenzeche Shamrock III/IV bei Herne in Westfalen.
(Original im Deutschen Museum, München.)

gestreckten „Flözberg" aus senken sich die Flöze nach allen Seiten in sanfter, ziemlich gleichmäßiger Neigung in die Tiefe. Die hier nahe an die Oberfläche tretende Flözgruppe, die sogenannte Sattelflözgruppe, ist durch ungewöhnlich starke Flöze ausgezeichnet. Ihrer 5 liegen mit einer zwischen 3 und 20 m schwankenden Mächtigkeit in der noch nicht 250 m dicken Schichtenfolge übereinander. Das Schuckmannflöz führt allein 6—13 m Kohle, und das Pochhammerflöz schwillt auf russisch-polnischer Seite bis auf 20 m Flözmächtigkeit an. Daneben spielen die in den übrigen Randpartien abgebauten Flöze von 1—2 m, auch wohl 4 m Mächtigkeit trotz ihrer sehr viel größeren Zahl (bis 60 Flöze) nur eine untergeordnete Rolle. Leider liefern nur die tieferen Sattelflöze eine backende Kohle, die sich für Leuchtgas- und Koksherstellung eignet. Ein sonderlich guter Koks läßt sich aber auch damit nicht erzielen. Nur dort, wo im Süden auf österreichischer Seite bei Karwin eine größere Anzahl Flöze nahe der Oberfläche ansteht, wird aus diesen Flözen eine ausgezeichnet backende Kohle gewonnen. Im übrigen liefert Oberschlesien größtenteils eine nicht backende Flammkohle.

Das niederschlesische Steinkohlenbecken liegt gleichfalls teils in Deutschland, teils in Osterreich. Zwischen dem Riesengebirge im Osten und dem Eulengebirge im Westen ist es eingeklemmt und bildet hier eine schmale, nach Südosten unter jüngerer Bedeckung in die Tiefe verschwindende Mulde. Auf preußischer Seite hat westlich von Waldenburg eine gewaltige geschlossene eruptive Masse sich durch die Steinkohlenformation hochgearbeitet und ragt als der Hochwald aus ihr heraus. Infolgedessen sind die Flözteile um den Hochwald herum steil aufgerichtet, während sie im übrigen im niederschlesischen Becken flach einfallen. Darin sind in einer unteren Flözgruppe — dem Liegendzug — 15, in dem Hangendzug dagegen 22 Flöze in Bau, deren Mächtigkeit im allgemeinen zwischen 0,5 und 2 m liegt, aber auch bis

3,5 m hinaufgeht, dabei im Hangendzug durchschnittlich größer ist als im Liegendzug. Auch die Kohlenbeschaffenheit ist im Hangendzug besser. Gute Flammkohle überwiegt auch in Niederschlesien; daneben ist gleichfalls brauchbare Gas- und Fettkohle vorhanden.

Im Königreich Sachsen sind bei Zwickau und Lugau-Ölsnitz von der Karbonformation kleine Reste erhalten geblieben. Es sind sozusagen nur noch gebirgsartige Stümpfe, die rings von Gebilden der auf das Karbon folgenden Permzeit eingehüllt sind. Bei Zwickau liegen in drei Gruppen je drei bis vier Flöze nahe beisammen von durchschnittlich 1—4 m Mächtigkeit, denen aber in der untersten Gruppe ein sehr starkes Flöz von 8—10 m Kohle gegenübersteht. Sechs bei Lugau-Ölsnitz abgebaute Flöze von 1—3 m schwellen durch Verschwinden der die einzelnen Flöze trennenden Zwischenschichten stellenweise auf 15—20 m Kohlenmächtigkeit an. In Sachsen wird die vorherrschende backende Koks- und Gaskohle als Pechkohle, eine zerreibliche Flammkohle als Rußkohle bezeichnet.

Im westlichen Böhmen haben sich mehrere kleine Steinkohlenbecken in der Gegend zwischen Prag und Pilsen erhalten, deren Bedeutung für Österreich in der erheblichen Mächtigkeit eines der darin abgebauten Flöze — 4 bis 9 m reine Kohle — liegt.

Von den in Deutschland isoliert liegenden Vorkommen ist endlich noch das Saarrevier zu nennen. Nordwestlich der Linie Forbach-Saarbrücken-Neunkirchen in Preußen und über diese Linie noch etwas hinaus, einerseits nach Lothringen, anderseits nach der Bayrischen Pfalz hinein, gehen in flachem, nach Südost geöffnetem Bogen vier Flözgruppen zutage aus. Ausnahmsweise lagern sie nicht in Beckenform, sondern ihre Hauptmasse bildet vielmehr eine Art Schild, einen flach nach Norden, Nordwesten und Westen sich einsenkenden Rücken mit einem scharf abgeschnittenen Rand an der erwähnten südöstlichen Begrenzungslinie. Die tiefste Flözgruppe führt backende Fett- und Gaskohlen, die oberste Magerkohle, die beiden übrigen bergen Flammkohlen. Die Flözmächtigkeit beträgt im Durchschnitt nur wenig mehr als 1 m. Als Ausnahmen kommen aber auch Mächtigkeiten von 3—3,4 m Kohle, in Rosseln sogar von 8—9 m Kohle vor. Die Fettkohlengruppe und die obere Flammkohlengruppe führen jede bis zwanzig Flöze, die beiden anderen Gruppen nur je zwei bis drei Flöze.

Für das deutsche Wirtschaftsleben der Gegenwart ist am bedeutungsvollsten das niederrheinisch-westfälische Steinkohlenvorkommen. Es bildet den östlichen Flügel einer ausgedehnten Ablagerung, welche sich aus der Gegend von Hamm durch Westfalen bis über den Rhein nach Aachen hinzieht, in Belgien ihre Fortsetzung findet und in ihrem nordfranzösischen Ausläufer ein Bindeglied hat, das auf den einstigen Zusammenhang mit den englischen Ablagerungen von Steinkohle hinweist. Das weite, nach Nordosten geöffnete westfälische Becken, welches vom Teutoburger Wald, Eggegebirge und Rheinischen Schiefergebirge (Sauerland und Bergisches Land) eingerahmt wird, ist erfüllt mit den Schichten der Karbonformation. Sie sind hier in Nordost-Südwest verlaufende Falten gelegt, so daß ein Querschnitt das Bild von flachen Wellentälern (Mulden) und scharfen Wellenbergen (Sätteln) gibt. Der ganze gewellte Schichtenklotz ist im Norden sehr viel tiefer eingesunken als im Süden. Infolgedessen reichen die Mulden im Norden bedeutend tiefer in die Erdkruste hinab als im Süden und enthalten die ursprüngliche Schichtenfolge um so vollständiger, je weiter sie im Norden liegen. In der südlichsten, der Wittener Mulde, finden wir an den Rändern die unterste Flözgruppe wesentlich mit Magerkohle zutage ausgehen. Das von ihnen eingefaßte Muldeninnere weist darüber schon die nächst höhere, die

Fettkohlenflözgruppe, auf. In der zweiten, der Bochumer Mulde, legen sich darauf Gaskohlenflöze, und in der Essener und den noch mehr nördlichen, der Recklinghäuser und der Lippe-Mulde, endlich auch noch Flammkohlen. Zu beiden Seiten der Ruhr geht die Steinkohlenformation zutage aus. In der Bochumer Mulde bereits legen sich Gebilde der Kreideformation über sie und bedecken von hier an nach Norden zu die steinkohlenführenden Schichten in immer stärkerem Maße. An der Emscher muß man 150—200 m, bei Recklinghausen rund 400 m, an der Lippe 600 bis 700 m in jüngeren Schichten durchteufen, ehe man auf Steinkohle stößt. Unter Münster liegt sie gar in 1400 m Tiefe. Bemerkenswert ist das allmähliche Anwachsen des Gasgehalts der westfälischen Steinkohlen in der Schichtenfolge von unten nach oben. In der Horizontalen nimmt der Gasgehalt von West nach Ost anscheinend gleichfalls gesetzmäßig zu. Im ganzen sind im Durchschnitt 70—76 Flöze bauwürdig, im Höchstfalle 96 mit einer durchschnittlichen Mächtigkeit von 90 cm, die ausnahmsweise bis 2,5 m steigt. Weitaus am reichsten an Kohle ist die zweitunterste, die Fettkohlenflözgruppe. In ihr liegt der Schwerpunkt des westfälischen Bergbaues.

Die starke Kreidebedeckung erschwert die Erschließung der Steinkohlenflöze im nördlichen und östlichen Westfalen deswegen besonders, weil die festen Schichten der Kreideformation in einigen Lagen zu starker Zerklüftung neigen und dann viel Wasser führen. Nach der Lippemündung hin und links vom Rhein, wo wir nördlich von Mörs auch noch Karbon haben, treten an die Stelle der Kreide Glieder der Zechsteinformation — insbesondere gewaltige Salzlager — und des Buntsandsteins, beide in der Hauptsache fest und gutartig, aber leider überlagert von lockeren, wassererfüllten Tertiärschichten in meist großer Mächtigkeit. Zahlreiche, mit großem Wagemut ausgeführte Bohrungen haben in den letzten Jahren dargetan, daß die ganze Gegend zwischen Wesel und Aachen unter diesem lockeren Material in der Tiefe Steinkohlen birgt, daß hier also eine unmittelbare Verbindung zwischen den bisher getrennt erscheinenden Kohlenbezirken besteht. Allerdings liegen die Steinkohlenflöze zum Teil in sehr beträchtlichen Tiefen, so daß ihre Ausbeutung hier einstweilen nur in beschränktem Maße möglich erscheint.

In zwei durch eine hochragende Barre älterer Schichten getrennten Becken sehen wir bei Aachen (Abbildung 10) die Karbonformation noch einmal emportauchen: in der südlich von Eschweiler sich von West nach Ost erstreckenden Indemulde liegen die Flöze wie ein Satz Schüsseln ineinander, während sie in der Wurmmulde nördlich von Aachen derart stark geknickt sind, daß sie im Querschnitt scharfe Zickzacklinien bilden. Die Aachener Flöze entsprechen den westfälischen. Indessen bestehen sie zum Teil aus anderen Kohlenarten als in Westfalen. Neben Magerkohlen finden sich in beiden Aachener Mulden ausgezeichnete Backkohlen und in der Wurmmulde auch Flammkohlen. In der letzteren geht der Bergbau heute vornehmlich um, und zwar auf 23 bauwürdigen Flözen, von denen 9 je über 1 m Kohle führen.

Nach den Feststellungen des letzten Jahrzehnts erstrecken sich die Flöze der Wurmmulde nach Nordwesten hin unter der holländischen Provinz Limburg her in das belgische Gebiet der Campine hinein und bergen in beiden Distrikten einen großen Reichtum besonders an Fettkohlen, so daß der hier im Aufblühen begriffene Bergbau die besten Aussichten hat. Nach Westen dehnt sich die Steinkohlenformation von Aachen als ein schmallanger Streifen in flachem, nach Norden geöffnetem Bogen mit nur geringen Unterbrechungen über Lüttich, Namur, Mons, südlich an Lille vorbei bis fast nach Calais hin aus. In Belgien erinnern die Lagerungsverhältnisse mit dem Zickzack der Flözlinien im Querprofil noch an diejenigen der Wurmmulde bei

Aachen. In Frankreich herrscht ein südliches Einfallen der Flöze vor. Starke Längsstörungen finden wir hier im nordfranzösischen Kohlenbezirk als Ausdruck beträchtlicher Schollenverschiebungen, die durch einen von Süden kommenden Druck veranlaßt worden sind. Die zahlreichen Störungsklüfte haben den Gasgehalt der Kohle offenbar wesentlich beeinflußt und bewirken große Unterschiede darin. Die den westfälischen Eßkohlen entsprechenden schwach backenden Kohlen sind hier vorwiegend, der Rest besteht zum größeren Teil aus Kokskohle, zum kleineren aus Magerkohle. Am schwächsten sind Gas- und Flammkohlen vertreten. Alle diese Kohlen treten in Belgien in ungefähr 50 Flözen von im allgemeinen 0,5—1,8 m Kohle auf. Etwas größer (etwa 70) ist die Zahl der ähnlich mächtigen nordfranzösischen Flöze.

Über das übrige Frankreich zerstreut und besonders im Südosten des Landes gehäuft finden sich dann noch zahlreiche, weit weniger bedeutungsvolle Steinkohlenbecken. Einige von ihnen zeichnen sich durch Ansammlungen von Kohle zu gewaltigen Mächtigkeiten und gleichzeitig durch eigenartige Lagerungsverhältnisse aus. Bei Flözen von 20 m in Creuzot und 30 m in Commentry scheint es sich um Zusammenschwemmungen von Teilen zerstörter Steinkohlenflöze zu handeln. Die riesige Mächtigkeit von 60—65 m in der Grande couche von St. Etienne dürfte dagegen durch Zusammenstauchung des normal „nur" 8—18 m mächtigen dortigen Flözes hervorgerufen sein.

Weist der belgisch-nordfranzösische Karbonbogen auch nach England, so besteht doch keine direkte Verbindung mit dessen zahlreichen und ergiebigen Kohlenvorkommen. Das südlichste liegt in Wales zu beiden Seiten des Bristolkanals. Es bildet auf dessen Nordufer ein großes und auf dem Südufer mehrere kleinere Becken. In diesen letzteren sind die Flöze stark gepreßt, in dem nördlichen Hauptbecken dagegen schwächer gefalten. Es sind bis 20 Flöze bekannt mit einer durchschnittlichen Kohlenmächtigkeit von etwas über 1 m. Sie enthalten nur zum kleineren Teil backende Kohle. Ihr Wert besteht vielmehr wesentlich in ihren ausgezeichneten anthrazitischen und mageren Kohlensorten. Im mittleren England überwiegt die Steinkohlenformation gegenüber den Gebilden aller übrigen Erdepochen. Eine große Zahl verschiedener kleiner und großer Becken ist von bauwürdigen Kohlenflözen erfüllt. Ihre Gruppierung um Birmingham, Liverpool, Manchester, Leeds herum hat diesen Orten ihre Bedeutung als Industrie- und Handelsplätze verschafft. Besondere Erwähnung verdient das mächtige, geschlossene Vorkommen, das sich von Bradford bis Nottingham rund 100 km lang durch die Mitte des Landes erstreckt. Im äußersten Norden Englands erfüllt ein bedeutendes Steinkohlenvorkommen das ganze Hinterland von Newcastle on Tyne an der Ostküste, und ein kleineres nimmt die Küstengegend um Cumberland herum im Westen ein. In Schottlands engstem Teil, zwischen dem Nordkanal und dem Firth of Forth, fügt sich ein Steinkohlenbecken an das andere.

Bei dieser enormen Verbreitung in dem britischen Inselreiche verschlägt es nicht viel, wenn die Menge der Flöze nicht sonderlich groß ist: eine Anzahl um 7 herum bildet die Regel; nur ausnahmsweise steigt sie in England auf 10, 12 und 14. Nur in Schottland stehen 28 Flöze im Bau. Die dünneren (1—2 m) Flöze überwiegen fast überall; Mächtigkeiten von über 2 m sind Seltenheiten. Zahlreiche Störungen haben insbesondere die schottischen Flöze stellenweise sehr entgast: kein Wunder, daß wir in den vielen großbritannischen Steinkohlenbecken die verschiedensten Steinkohlenarten finden. —

Von den russischen Kohlenvorkommen hat neben dem russisch-polnischen Teil des oberschlesischen Steinkohlenbeckens nur das Donetzbecken eine wesentliche wirtschaftliche Bedeutung. Es umfaßt die Gegend nördlich des Asowschen Meeres

von Slaviansk bis zum unteren Laufe des Don. Abweichend von den Verhältnissen in den bisher betrachteten Distrikten, in denen nur das obere Karbon produktiv ist, birgt hier die mittlere Stufe der Karbonformation die bauwürdigen Flöze. Auch findet sich hier eine so weitgehende Wechsellagerung von Steinkohlenflözen und typischen Meeresablagerungen, daß die Annahme einer Bildung der Kohlenflöze unmittelbar am Meeresrand hier geradezu zwingend wird. Der westliche Teil des Gebietes, wo hauptsächlich Bergbau umgeht, weist im Süden regelmäßige, flach muldenförmige Lagerung auf, während seine nördliche Hälfte scharf gefalten ist. Im Osten finden wir vorwiegend magere, im Westen gasreichere Kohlen. Es sind bis zu 30 Flöze bauwürdig in Mächtigkeiten zwischen 0,75 und 2,75 m.

Den gleichen marinen Typus der geologischen Entwicklung des Karbons finden wir durch Asien hindurch bis ins Herz von Nordamerika hinein. Großen Kohlenreichtum dürfte Westsibirien südlich der sibirischen Bahn haben, wenn die gemeldete Mächtigkeit von 23—40 m auf größere Erstreckung hin tatsächlich vorhanden ist und für eine Kohle von befriedigender Reinheit zutrifft. Im mittleren Sibirien liegen mehrere beachtenswerte Steinkohlenvorkommen mit Flözen von gleichfalls bedeutender Mächtigkeit: 3, 4 bis 11 m!

China hat in seinen östlichen Provinzen eine ganze Anzahl guter Steinkohlenfelder. Für uns von besonderer Bedeutung sind diejenigen an der deutschen Schantung-Eisenbahn. Hiervon ist das östliche, das Wheisienfeld, schon gründlich erschlossen. In 3 Flözen von 3—4 m Mächtigkeit wird aus rund 200—350 m Tiefe eine gute Gaskohle gewonnen. Beträchtlich ausgedehnter ist ein 300 km westlich von Tsingtau bei Poshan gelegenes Vorkommen, das eine ausgezeichnete Kesselkohle aus 5 Flözen von aber leider nur geringer Mächtigkeit — durchschnittlich 70 cm — liefert.

Die großen Steinkohlenfelder von Nordamerika liegen in der östlichen Hälfte der Vereinigten Staaten: eine Gruppe davon, dem Zentrum des Landes naheliegend, ist dem russisch-asiatischen Typus verwandt, die andere erstreckt sich in einem langen breiten Streifen dem Alleghanygebirge entlang von Pennsylvanien bis Alabama und entspricht in ihrer Ausbildung dem westeuropäischen Typ. Die zentrale Gruppe weist zwei Felder auf, von denen das eine von Jowa durch Kansas und Missouri bis zum Indianer-Territorium hinabreicht, das andere den Staat Illinois fast ganz erfüllt und durch Indiana nach Kentucky hineinragt. Der ungewöhnlichen Ausdehnung der kohleführenden Schichten entsprechen zwar Zahl und Mächtigkeit der Flöze nicht ganz, aber es sind doch immerhin bis 16 Flöze von 1—2 m Mächtigkeit in einfacher, flacher Lagerung im Bau. Die Bedeutung des auf diesem Vorkommen beruhenden Bergbaues verschwindet jedoch gegenüber demjenigen des amerikanischen Ostens. Das Hauptvorkommen, das sogenannte Appalachische Kohlenfeld, verdankt seine Bedeutung vorwiegend der enormen Ausdehnung, in der das rund 2 m mächtige Pittsburgflöz bauwürdig ist: es dehnt sich von Pittsburg etwa 320 km bis nach Westvirginien aus und weist dabei eine Breitenerstreckung bis zu 160 km auf. Neben ihm werden im Appalachischen Distrikt noch eine Anzahl anderer Flöze von ähnlicher Mächtigkeit abgebaut. Sie alle führen eine gasreiche, nicht sonderlich gut backende Kohle, sogenannte bituminöse oder Weichkohle, die aber immerhin ganz überwiegend der Koksherstellung dient. Das Ohiokohlenfeld und die südappalachischen Becken können im engen Rahmen dieser Arbeit als Fortsetzungen und Ausläufer des appalachischen Nordfeldes nur eben Erwähnung finden. Nordöstlich vom riesigen appalachischen Kohlenfeld finden wir auf dem rechten Ufer der Susquehanna von Harrisburg ab eine größere Anzahl SW-NO schmallanggestreckter Flözzüge, die eine sehr gasarme

Steinkohle, einen ausgezeichneten Anthrazit, bergen. Diese Hartkohlenfelder des Ostens treiben auf 20 Flözen von zum Teil großer Kohlenmächtigkeit Abbau. Das bedeutendste, das Mammutflöz, hat zwischen 3 und 15 m Kohle. Infolge ihrer großen Flözmächtigkeiten steuern die Hartkohlenfelder trotz ihrer sehr viel geringeren Ausdehnung doch nächst dem Pittsburg-Weichkohlendistrikt weitaus am meisten zur gesamten Steinkohlenförderung der Vereinigten Staaten bei.

Was im übrigen von Steinkohlenvorkommen der Karbonformation in anderen Ländern, wie z. B. Transvaal, Natal, Kapkolonie und Australien, sowie von solchen aus jüngeren Formationen an Jurakohlen in Asien (Persien, Sibirien, China), in Nordamerika (Virginia), in Deutschland (Deister und Obernkirchen), in Ungarn (Fünfkirchen) und im Kaukasus, an Kreidekohlen in den westlichen und südlichen Vereinigten Staaten gewonnen wird, hat lediglich engbegrenzte lokale Bedeutung und tritt weit zurück gegen die oben in aller Kürze gekennzeichneten Hauptsteinkohlenbezirke der Welt.

DIE GEWINNUNG DER STEINKOHLE. SCHACHTABTEUFEN. Bei Steinkohlen lohnt in den Kulturländern heute schon die Verfolgung der Vorkommen in große Tiefe bis zu 1000 und mehr Meter, weil, wie wir sahen, die Kohle sehr viel heizkräftiger und damit wertvoller ist als Braunkohle, weil sie ferner in gewissen Sorten das Rohmaterial bildet für den im Hüttenwesen heute noch unentbehrlichen Koks, und endlich, weil ihre Flöze gewöhnlich in größerer Zahl nahe beieinanderliegen. Durch die große Anzahl der Flöze wird die in der Regel relativ geringe Mächtigkeit der Einzelflöze vielfach glücklich ausgeglichen.

Im Hinblick auf den steigenden Wert der Kohle scheut man sich heute in Ländern mit ständig stark wachsendem Brennstoffverbrauch nicht, sie auch in solchen Tiefen aufzusuchen und aus ihnen zu heben, deren Erreichung außerordentliche Schwierigkeit und ungewöhnlich hohe Kosten macht. Die Aussicht auf Funde und Gewinne aus einem in großer Tiefe liegenden bergmännischen Neuland hat die Technik mächtig angespornt. Mit frischem Wagemut hat sie die neu gewiesenen Wege beschritten und mit zäher Energie verfolgt. Glänzend sind ihre Erfolge, vornehmlich in Deutschland, weil ihr hier die schwierigsten Aufgaben gestellt waren.

Am klarsten tritt das in den Fortschritten hervor, welche im Schachtabteufen durch lockere und nasse Schichten gemacht worden sind. Beim Steinkohlenbergbau braucht man Schächte von wesentlich größerem Querschnitt als im Braunkohlenbergbau, um solche Mengen fördern und derartige Gewinne machen zu können, daß die Aufwendung der mit den großen Tiefen notwendig verbundenen hohen Anlagekosten sich lohnt. Dieser größere Querschnitt der Schächte und gleichzeitig die größere Tiefe, welche erreicht werden muß, machen die Durchführung der Schachtabteufmethoden, die wir im Braunkohlenbergbau kennen gelernt haben, ungleich schwieriger, bedingen Ergänzungen daran und neben ihnen die Anwendung noch anderer Abteufmethoden.

Beim Steinkohlenbergbau hat man es unmittelbar unter der Erdoberfläche in den meisten Fällen zwar zunächst auch mit lockeren Massen zu tun. Darunter aber sind feste Gesteine zu durchteufen.

Die Schwierigkeiten, welche die obersten losen Materialien bieten, sind stellenweise deswegen viel größer als beim Braunkohlenbergbau, weil diese Massen in einigen Gebieten, wie z. B. am Niederrhein, in großer Dicke auf festen Teilen der Erdrinde auflagern. Um hier mit Senkschächten zum Ziele zu kommen, bedarf es nicht nur eiserner Senkzylinder und der Anwendung von hydraulischen Pressen, sondern überdies der teleskopartigen Anordnung von Führungsschächten und besonderer

Einrichtungen zum Entfernen der losen Massen aus dem Innern des Senkzylinders (Abbildung 34). Das geschieht einmal mit gewaltigen Bohrern, bei deren Drehung sich Säcke mit Material füllen, die durch Rahmen offen gehalten werden und für sich allein hochgezogen werden können (Abbildung 35). Oder aber das durch einen riesigen Bohrer aufgerührte und nötigenfalls noch zerkleinerte Material wird durch Mammutpumpen zutage befördert (Abbildung 34). Bei geringer Dicke der wassererfüllten Masse ist das Hinabpressen des Senkschachtes auch dadurch möglich gemacht worden, daß das Innere des Senkschachtes durch eine Luftschleuse von der Außenluft getrennt und mit Druckluft erfüllt wurde, die den Aufenthalt und die Arbeit von Menschen in ihr wenigstens für einige Zeit erlaubt. Durch die Druckluft wurde das Wasser vom Eintritt in das Schachtinnere abgehalten, und auf der Schachtsohle konnte durch Menschenhand das Gesteinsmaterial solcherart hereingewonnen werden, als dem gleichmäßigen und ruhigen Sinken des Schachtzylinders förderlich war.

Ganz besondere Fortschritte hat bei den neuen Aufgaben, die der Steinkohlenbergbau bot, das Gefrierverfahren gemacht. Um damit die Teufen von 100 und mehr Metern, wie es neuerdings die Verhältnisse im nördlichen Rheinland-Westfalen, in Belgien und anderen Orten erfordern, zu durchdringen, half man sich zunächst durch absatzweise Fertigstellung des Schachtes. Schnell aber wurde das Ver-

Zeche Rheinpreussen.

Compound- und Eisenschacht.

Schlagbohrmaschine.

Beginn des Absenkens mit dem Eisenschacht im Schacht V.

Abbild. 34. Schachtabteufen durch Abbohren und mit Senkschächten.

fahren derart ausgebaut, daß es letzthin glücklich gelungen ist, ohne Absätze einen Eisblock von über 400 m Tiefe in wassererfüllte lose Massen hinabzuzaubern und darin einen Schacht glücklich durchzubringen. Für das Gelingen solcher Schächte ist von ausschlaggebender Bedeutung, daß die Gefrierrohre nicht stark divergieren, daß also die Bohrlöcher, in denen sie hinabgeführt werden, möglichst genau senkrecht stehen. Etwaige Abweichungen lassen sich durch Präzisionsapparate, die zu diesem Zwecke neuerdings hergestellt worden sind, nachweisen. Werden Abweichungen bedenklichen Maßes festgestellt, so müssen Ergänzungsbohrlöcher gestoßen werden, damit auf alle Fälle ein ringsum festgefrorener Körper von möglichst gleichmäßiger Dicke erzielt wird. Die Gefrieranlagen für bis 300 m und mehr abzufrierende Schächte sind von bedeutendem Umfange. Die Unternehmer sind durch den allmählich gesammelten großen Schatz an Erfahrungen ihres Erfolges so sicher geworden, daß die Ausführungen jetzt allgemein unter Gewährleistung des Gelingens erfolgen.



Abbildung 35. Sackbohrer für Schachtabteufen.

Sind beim Steinkohlenbergbau die losen Massen, welche auf der festen Gesteinsrinde der Erde ruhen, überwunden, so geht das Streben des Bergmanns dahin, beim weiteren Schachtabteufen nach Möglichkeit mit Handarbeit auszukommen. Sie ist in der Leistung und in den Kosten jeder anderen Methode

bedeutend überlegen und führt, wenn überhaupt, so in der Regel mit dem geringsten Zeitaufwand zum Ziele.

Das Schachtabteufen von Hand im festen „Gebirge" erfolgt durch Lösen des Gesteins mit Sprengschüssen. Die Sprengbohrlöcher werden beim Schachtabteufen heute am zweckmäßigsten mit Preßluft-Bohrhämmern hergestellt. Mit diesem Abteufen geht gewöhnlich eine vorläufige Verkleidung, der provisorische Ausbau, Hand in Hand. Die Schachtwand wird mit Holzbohlen verkleidet, die durch eiserne Ringe festgehalten werden. Der endgültige Ausbau erfolgt erst, nachdem ein größerer Teil des Schachtes abgeteuft worden ist. Derart muß stets dann verfahren werden, wenn dem endgültigen Ausbau des Schachtes ein festes Auflager gegeben werden kann. Wird der Schacht nur ausgemauert, so wird in einiger Tiefe ein Mauerfuß in die Schachtwand eingearbeitet, der den ganzen darauf errichteten Mauerzylinder tragen muß, soweit dieser nicht an den Unebenheiten der Schachtwand Stützpunkte findet. Mit der Ausmauerung in gutem Zement oder auch dem Ausbetonieren, womöglich in Eisenbeton, wird man sich überall dort gern begnügen, wo solche Verkleidung der Schachtwand hinreichend erscheint. Die Ausführung wird dadurch weitaus am billigsten. Muß dagegen nach dem Abteufen von Hand der endgültige Schachtausbau in Eisen ausgeführt werden, so kann in analoger Weise wie bei der Mauerung verfahren werden: an Stelle des Mauerfußes wird ein eiserner Tragring („Tragekranz") in der Schachtwand fest verlagert als Auflage und Halt für die Tübbingringe. Diese Tübbingringe werden aus einzelnen gußeisernen Segmentstücken im Schacht zusammengesetzt (Abbildung 36). Die Segmente sind außen glatt (deutsche Tübbings), auf ihrer Innenfläche dagegen durch gußeiserne Rippen verstärkt. Durch Schrauben werden die einzelnen Tübbings eines Ringes fest verbunden. Der Hohlraum, welcher durch die Unregelmäßigkeiten der Schachtwand zwischen ihr und den Tübbings verbleibt, wird möglichst sorgfältig mit Zement und Beton zugefüllt. Endlich werden die Fugen zwischen den einzelnen Tübbings und einzelnen Ringen durch eingestemmte Bleistreifen ganz dicht verschlossen. Auf diese Weise wird ein völlig dichter Schachtzylinder hergestellt und dadurch jeder Wasserzufluß aus den durchteuften Schichten in den Schacht verhindert.

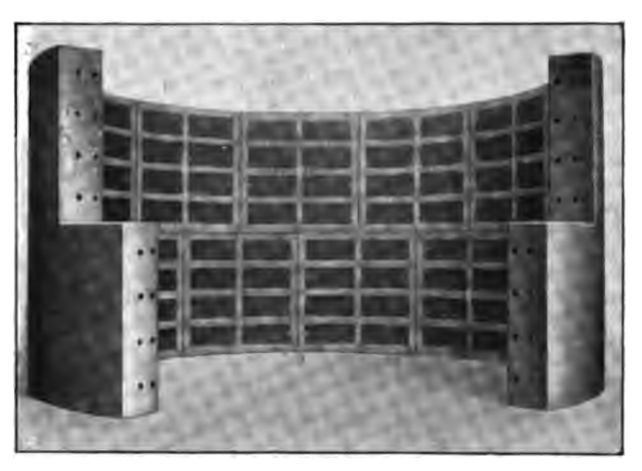


Abbildung 36. Tübbings zur Schachtauskleidung.

In den beiden zuletzt geschilderten Fällen erfolgt die Herstellung eines Schachtes absatzweise: es wird immer erst ein Stück abgeteuft, dann dessen endgültiger Ausbau vorgenommen und in der Regel danach erst zum Abteufen des nächsten Stückes übergegangen. Der Schachtausbau erfolgt in diesen Fällen von einer sogenannten Bühne aus. Die Arbeiter stehen auf einer den Schachtquerschnitt nahezu ausfüllenden kreisrunden Scheibe aus Holzbohlen, die entsprechend dem Höherrücken des Ausbaues stetig nach oben verlegt wird oder aber eine schwebende Bühne ist, d. h. an Stahldrahtseilen aufgehängt und an diesen allmählich immer höher gewunden wird. Solche schwebende Bühnen erlauben, daß, während von ihnen aus ein oberer



Abbildung 37. Hochdruckzentrifugalpumpe zum Schachtabteufen.

Teil des Schachtes fertig ausgebaut, gleichzeitig der nächst tiefere Teil abgeteuft wird. Die Bühne wird dann mit einem Durchlaß für den Förderkübel versehen, der es zuläßt, das unten losgesprengte Gestein durch sie hindurch zutage zu fördern. Bedeutet eine solche Kombination auch eine beträchtliche Zeitersparnis, so ist sie doch eine besonders böse Gefahrenquelle, wie denn überhaupt alle Arbeiten auf feststehenden wie schwebenden Schachtbühnen mit erhöhter Gefahr verbunden sind: immer wieder sind solche Bühnen der Anlaß zu Unglücksfällen. Für Schachtausmauerung sind sie gleichwohl nicht zu entbehren. Dagegen lassen sie sich bei eisernem Ausbau wohl vermeiden. Solchen kann man dem Abteufen auch unmittelbar folgen lassen, indem man die Tübbingringe aneinanderhängt, einen unter den anderen in dem Maße, wie der Schacht tiefer wird. Bei dieser in der neuesten Zeit erfolgreich durchgeführten Methode muß nur ein Tragering geschaffen und fest in der Schachtwand verlagert werden, welcher die Last der daran aufgehängten Tübbings aufzunehmen vermag. Das Unterhängen der Tübbings vermeidet auch noch eine andere Gefahrenquelle, welche in der provisorischen Holzverkleidung der Schachtwand liegt. Ist es doch oft genug vorgekommen, daß sich dabei größere Gesteinspartien aus der Schachtwand lösten, den Holzausbau durchbrachen und den in der Tiefe arbeitenden Bergleuten Tod und Verderben brachten.

Der Durchführung dieser Handabteufmethoden im festen Gebirge stellen im Steinkohlenbergbau in der Hauptsache nur Wasserzuflüsse Schwierigkeiten in den Weg. Von größter Wichtigkeit ist es daher, dieser Wasserzuflüsse beim Abteufen Herr zu bleiben. Die Entwicklung der Maschinentechnik hat dafür neue Hilfsmittel geschaffen: Abteufpumpen, die an starken Stahldrahtseilen aufgehängt und im Schacht nachgesenkt werden können, sind heute nicht mehr auf Dampf angewiesen, dessen Zuleitung den Schacht unangenehm erwärmte und das Arbeiten darin erschwerte. Preßluft und in zunehmendem Maße die Elektrizität sind hier an seine Stelle getreten und haben im Verein mit der Ausgestaltung der Hochdruckzentrifugalpumpen (Abbildung 37) neue Möglichkeiten geschaffen. Der Verwendung von Pumpen setzt aber der beim Abteufen im Schacht zur Verfügung stehende enge Raum Grenzen. Sind diese Grenzen erreicht, so verbleibt als letztes Hilfsmittel die geniale Erfindung des Deutsch-Belgiers Tomson: dessen Wasserziehvorrichtung. Bei ihr wird das Wasser, welches dem Schachttiefsten zufließt, durch Pumpen zwei zylinderförmigen Behältern, deren jeder an Stahldrahtkabeln dicht über der Schachtsohle hängt, zugeführt. Da die Pumpen das Wasser nur auf diese kleine Höhe zu heben brauchen, so genügen solche von geringen Abmessungen, wie sie in dem engen Schacht bequem Platz haben und bei seinem Tieferwerden leicht nachgesenkt werden können. Aus den Wasserbehältern wird das Wasser durch mächtige, gleichfalls zylindrische Kübel, die infolge ihres etwas geringeren Durchmessers in die oben offenen Behälter

eintauchen können, herausgeschöpft. Ein Bodenventil an den Kübeln ist so eingerichtet, daß sie sich bei diesem Eintauchen selbsttätig mit Wasser füllen und das Ventil sich beim Anheben der Kübel schließt, diese also voll Wasser bleiben. Eine leistungsfähige Fördermaschine zieht die Kübel abwechselnd an Stahldrahtseilen zutage: während der eine oben entleert wird, taucht der andere unten in den Wasserbehälter ein und füllt sich. Die Kübel haben bedeutende Abmessungen: es waren bereits solche von je 10 cbm Inhalt in Gebrauch. Die Tomsonsche Wasserziehvorrichtung hat schon einen Wasserzufluß von 4 cbm, der in 450 m Tiefe erfolgte, bewältigt. In einem Falle ist durch Einbau einer Doppeleinrichtung sogar das doppelte Wasserquantum gehalten worden. Das ist eine Leistung, die bisher auf andere Art nicht erzielt worden ist.

In festem Gestein zirkuliert Wasser in der Hauptsache auf Rissen, Spalten. Manche Schichten sind in besonderem Maße rissig, „klüftig", wie der Bergmann sagt, und daher in der Regel wasserführend. Jegliches in der Tiefe angetroffene Wasser steht unter einem mehr oder weniger großen hydrostatischen Druck, der seine Bewältigung sehr erschwert. Wo es sich nur um wenige wasserbringende Spalten handelt, mit diesen von vornherein gerechnet werden mußte und daher weitgehende Vorsorge getroffen war, ist es in der allerletzten Zeit gelungen, Bohrlöcher, die von der Schachtsohle aus derartige Spalten erreichen konnten, so einzurichten, daß dem Wasser der Austritt verwehrt, wohl aber die Möglichkeit gelassen war, durch die Bohrlöcher in die wasserzuführende Spalte unter hohem Drucke Zement oder eine Mischung von Sand und Zement hineinzupressen. Der Zement erhärtete in den Spalten und schloß diese so vorzüglich, daß der Wasserzufluß aus ihnen vollkommen aufhörte. Mittels dieses sogenannten Versteinungsverfahrens scheint es möglich, einzelne wasserführende Stellen im festen Gestein sehr viel schneller und daher auf wesentlich billigere Weise zu überwinden, als auf andere Art bisher gelungen ist. Ob aber ganze Partien, welche aus stark zerklüfteten, sozusagen löcherigen, völlig wassererfüllten Gesteinsschichten bestehen, derart vollkommen versteint werden können wie einzelne wasserbringende Spalten, steht noch dahin.

Als die zuverlässigste Methode, solche bösartigen Punkte zu überwinden, hat sich bislang immer noch das Kind-Chaudronsche Schachtabbohrverfahren erwiesen. Bei jeglichem Schachtabteufen, das unter bedenklichen Wasserzuflüssen statthat, empfiehlt es sich dringend, alle Vorrichtungen derart anzubringen, daß sie dann, wenn das Wasser etwa doch die Übermacht bekommen sollte, bequem aus dem Schacht entfernt werden können. Das ist deswegen zweckmäßig, weil das Kind-Chaudronsche Verfahren, welches allein in solchem Falle sicheren Erfolg verspricht, sich nur in dem Falle ausführen läßt, daß das Innere des bereits fertiggestellten Schachtstückes ganz frei und leer ist.

Das Kind-Chaudronsche Verfahren ist selbst dann noch anwendbar, wenn der Schacht gänzlich „ersoffen" ist, bis obenhin voll Wasser steht. Trotz aller Vorsicht läßt sich eine solche deprimierende Wendung oft absolut nicht verhindern. Mächtig bäumt sich des Wassers Gewalt in der Tiefe gegen das Menschenwerk auf, das es einengen und meistern will, und hat oft genug schon in wenigen Stunden die harte Arbeit von Jahren zerstört. Aber die reichen Steinkohlenschätze in der Tiefe lohnen auch noch weitere Opfer. Die gewaltigen Apparate für das Kind-Chaudronsche Verfahren werden herangeschafft, und damit bleibt der Mensch doch Sieger.

Wuchtige Bohrer, von einer schweren Maschinerie bewegt, zertrümmern das Gestein auf der Schachtsohle innerhalb der wasserführenden Zone. Unsere Abbildungen

geben einen Begriff von Kräften und Mitteln, mit denen hier gearbeitet wird. Mit dem „kleinen" (b Abbildung 38) Bohrer wird erst ein enger Vorschacht hinabgearbeitet,

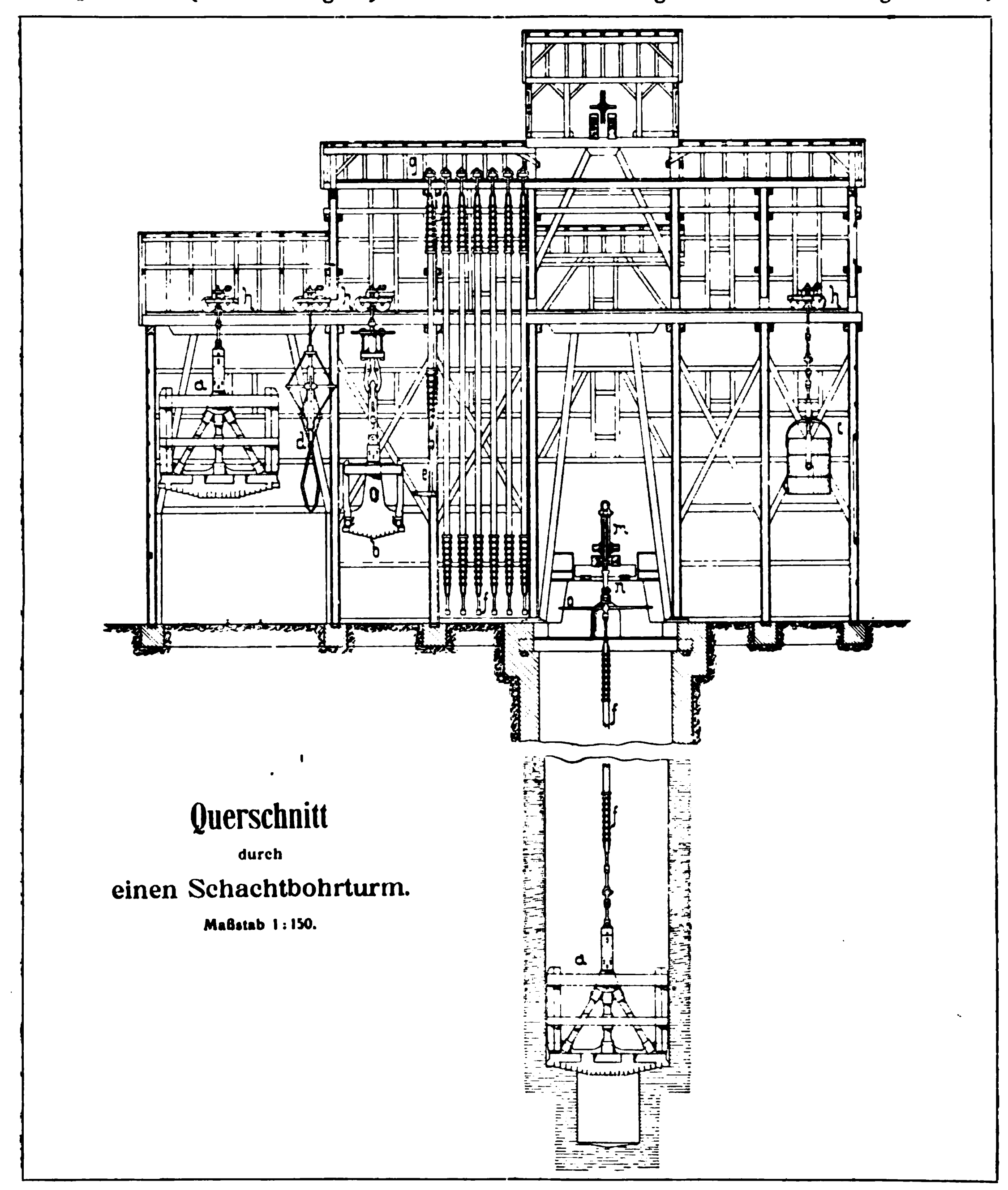


Abbildung 38. Schachtabteufen durch Abbohren nach Kind-Chaudron.

der dem großen Bohrer (d Abbildung 38 u. Abbildung 39), einem wahren Rieseninstrument, die Führung gibt. Die Breite dieses großen Bohrers entspricht genau dem Durch-

messer, den der Schacht bekommen soll. Ebendeswegen muß, wie oben schon betont, der bereits fertiggestellte Schachtteil ganz leer sein, damit der Bohrer darin niedergeführt werden und arbeiten kann. Die mächtigen Bohrinstrumente verwandeln die Gesteine, die sie zertrümmern, zu Schlamm. Dieser sammelt sich auf dem Boden des Vorschachtes an und wird durch Ausschöpfen mit eisernen Zylindern — „Löffeln" (c Abbildung 38) — zutage geholt. Das Hochziehen und Niederlassen der Bohrer und Löffel nimmt bei deren Gewicht und den Teufen, in denen gewöhnlich gearbeitet wird, viel Zeit in Anspruch. Diese Abteufmethode ist daher sehr zeitraubend. Das Abbohren wird bis auf Gesteinsschichten fortgesetzt, in denen ein nennenswerter Wasserzufluß erfahrungsgemäß nicht mehr zu erwarten steht.



Abbildung 39. Großer Schachtbohrer beim Kind-Chaudronschen Verfahren.

Es folgt dann unmittelbar der Ausbau des abgebohrten Schachtteils, und zwar derart, daß eine unten durch einen Boden verschlossene Reihe von ringsum geschlossenen Tübbingringen (Cuvelage) in den Schacht gelassen und die daraus gebildete Röhre durch Aufsetzen von Tübbingringen immer länger gemacht wird. Der am Boden liegende Tübbingring, Moosbüchse (Abbildung 40), besteht aus zwei übereinanderschiebbaren Teilen, von denen der obere, etwas weitere nach dem Aufstoßen auf die Schachtsohle durch die Last der auf ihm ruhenden Tübbingringe eine außen um den unteren engeren Ring befestigte dicke Moosschicht zu einem festen, dicht an die Schachtwand anschließenden Wulst zusammenquetscht und damit den wasserdichten Abschluß des Hohlraums zwischen Schachtwand und Außenwand der Cuvelage herstellt. Über den Wulst wird zuletzt von oben mittels flacher Löffel Beton rings um die Cuvelage eingefüllt. Moosring und Beton schließen alle Wasserzuflüsse aus dem durchteuften Gestein völlig ab. Nach genügender Erhärtung des Betons wird die Cuvelage leergepumpt, ihr Boden entfernt, und das schwierige Werk ist beendet.

Bei Längen des bösartigen Schachtstückes von 100 bis 200 m nimmt die Fertigstellung durch das Kind-Chaudronsche Verfahren in der Regel ein bis zwei Jahre in Anspruch und verschlingt Beträge zwischen 3/4 und 1 1/2 Millionen Mark. Das Verfahren ist leider mit dem weiteren Nachteil verbunden, daß es nur einen relativ geringen Schachtdurchmesser zuläßt. Die Tübbingringe, die bei ihm zur Verwendung kommen, dürfen nicht aus einzelnen Stücken zusammengesetzt werden, sondern müssen aus einem Stück gearbeitet sein. Stets müssen die Ringe mit der Bahn herangeschafft werden. Die Bahn aber kann durch Tunnels, Wegeübergänge usw. nur Gegenstände von bestimmten Höchstabmessungen befördern. Infolgedessen kann sie nur Tübbingringe von einem innern Durchmesser von höchstens 4,1 m heranschaffen. Dadurch beschränkt dieses teuerste Schachtabteufverfahren auch noch obendrein die Ausnutzung des Schachtes und verteuert damit auch den späteren Betrieb des Bergwerks. Trotz alledem kommt es immer wieder zur Anwendung, denn es ist tatsächlich in manchen Fällen das einzige, welches zum Ziele führt, und es hat seinerseits noch in keinem Falle die Hoffnungen betrogen, die darauf gesetzt wurden.

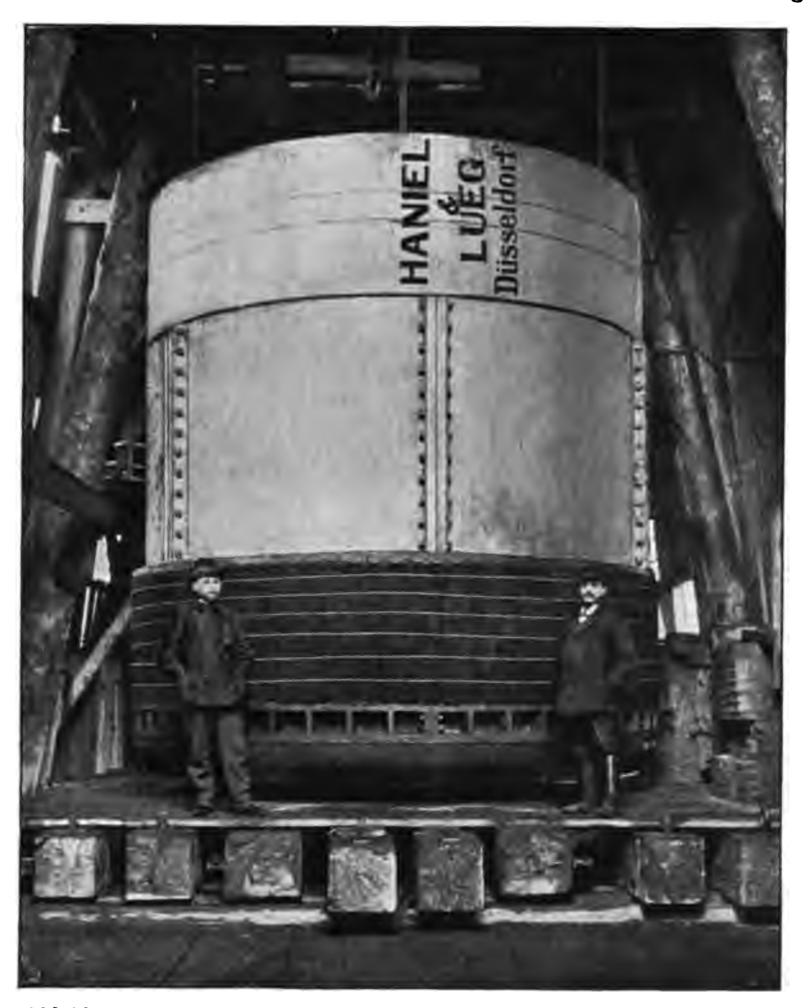


Abbildung 40. Moosbüchse für Schachtabteufen nach Kind-Chaudron.

DER ABBAU DER STEINKOHLE. Sind die Steinkohlen führenden Schichten mit Schächten erreicht, so werden die Schächte darin noch so tief hinuntergebracht, daß der Kohlenvorrat, welcher über dem Niveau des Schachttiefsten ansteht, groß genug ist, um die Anlage einer Hauptsohle rentabel erscheinen zu lassen. Bei flacher Lagerung der Flöze ist das womöglich schon bei einer Höhe von 30 m des über der Sohle befindlichen Stückes der Fall, während bei steiler Schichtenstellung erst 150 m genügen können. In Deutschlands größtem Kohlenbezirke, dem Ruhrrevier, beträgt der Sohlenabstand in der Regel 80—100 m. — Nahe unter der oberen Grenze der

Steinkohlen bergenden Schichten wird darin eine Wettersohle angelegt. Durch Querschläge und Grundstrecken wird die Lage und der Verlauf der Flöze in der Sohlenebene festgestellt und hierdurch ein ausgedehntes und mehr oder weniger verwickeltes Streckennetz auf den Sohlen hergestellt. Völlige Klarheit über die Lagerungsverhältnisse und den Kohlenvorrat gibt aber erst eine Untersuchung der Flöze zwischen den Sohlen durch sogenannte Aufhauen, das sind Strecken, welche in den Flözen selbst von der unteren zur oberen Sohle angelegt werden. Diese Verbindung zwischen zwei Sohlen schafft zugleich den Luftumlauf, welcher allein ein Vorrücken der Arbeiten in größere Entfernung von den Schächten ermöglicht.

An solche Aufhauen schließt sich der Abbau der Steinkohlen unmittelbar an. Wie im geologischen Kapitel bereits betont, haben die Steinkohlenflöze in sehr viel stärkerem Maße als die Braunkohlenlager unter den vielen Veränderungen gelitten, denen die Erdkruste ausgesetzt war. Sie liegen infolgedessen in mannigfacher Weise gefalten und zerrissen im Schoß der Erde (Abbildung 10 und 33). Immerhin sind aber die einzelnen Flözstücke im allgemeinen doch noch von solcher Größe, daß sie auf einige Erstreckung ein einheitliches Verhalten aufweisen. Dadurch sind in vielen Fällen bereits von der Natur die Grenzen der Abbauabteilungen einigermaßen bestimmt.

Wenn innerhalb der Abteilungen der Abbau in analoger Weise wie beim unterirdischen Braunkohlenbetrieb geführt wird, indem die geschaffenen Hohlräume leer gelassen und zum Einsturz gebracht werden, so muß naturgemäß auch hier in Steinkohlenbergwerken mit dem Abbau an der Grenze der Abteilung begonnen werden. Er bewegt sich dann nach rückwärts zu. Neben diesem Pfeilerbruchbau oder Pfeilerrückbau bedient sich der Steinkohlenbergbau in steigendem Maße verschiedener Abbauarten, denen allen gemeinsam ist, daß die ausgekohlten Räume mit Gestein oder Sand, „Bergen", vollgefüllt, „versetzt" werden. In der Regel schreitet dieser Abbau mit Bergeversatz von der Mitte der Bauabteilung aus nach deren Grenzen hin fort. Die beiden Seiten einer Bauabteilung, die Abbauflügel, werden in einzelne Streifen zerlegt, die entweder horizontal verlaufen (streichender Abbau) oder von einer Sohle nach der anderen hinaufführen (schwebender Abbau). Die große Mannigfaltigkeit der lokalen Verhältnisse bedingt eine ganze Anzahl verschiedener Abbausysteme. Von ihnen sollen hier nur die drei bedeutendsten vorgeführt werden.

Wohl die Mehrzahl unserer deutschen Steinkohlenflöze hat eine etwas unter oder über 1 m betragende Mächtigkeit. In diesem Falle sind die Abbaustrecken höher als das Flöz dick, und es müssen zu ihrer Herstellung noch einige Lagen der Gesteinsschicht, die unmittelbar auf dem Flöz ruht, fortgesprengt oder hereingerissen werden. Viele dieser dünnen Flöze, aber auch dickere, deren Mächtigkeit es erlaubt, die Abbaustrecken lediglich in der Kohle anzulegen, haben Zwischenmittel aus Gestein, dessen Stücke von der Kohle getrennt — „ausgehalten" — werden müssen. In beiden Fällen ergeben sich „Berge", die möglichst in der Grube untergebracht werden müssen, da ihre Herausbeförderung nur Kosten verursachen würde. Diese Berge werden in erster Linie dazu verwandt, die ausgekohlten Hohlräume zu füllen, zu „versetzen".

Beim Strebbau, der gebräuchlichsten Abbauart mit Bergeversatz, bearbeitet gewöhnlich je eine Kameradschaft einen Abbaustreifen. In dem Maße wie der vorschreitende Abbau Hohlräume schafft, werden die aus dem Kohlenflöz abgesonderten und die beim Nachführen der Abbaustrecken gewonnenen Berge in die Hohlräume hineingeworfen, der ausgekohlte Raum „verfüllt". Reichen die „eigenen" Berge,

d. h. diejenigen, welche beim Abbau selbst an Ort und Stelle gewonnen werden, nicht aus, um den ausgekohlten Raum zu füllen, so wird mit Bergen nachgeholfen, die man beim Durchqueren, „Durchörtern" der zwischen den Flözen liegenden Gesteinsschichten erhält.

Wo infolge der Mächtigkeit und Reinheit der Flöze die hinreichende Menge von Bergen fehlt, um Abbau mit Bergeversatz durchführen zu können, muß geprüft werden, inwieweit der Abbau auf die Bebauung und etwaige Anlagen über Tage wie Straßen, Wasserleitungen, Kanalisation u. a., schädigend einwirken könnte. Braucht keine Rücksicht darauf genommen zu werden, so kann der Pfeilerbruchbau angewandt werden. Müssen aber Einwirkungen auf die Erdoberfläche vermieden werden, und läßt sich auch selbst mit fremden Bergen ein Versatzabbau nicht einrichten, so macht heute das künstliche Hereinspülen von Sandmassen von Tage her in die Abbaue (Spülversatz) die Gewinnung von Flözstücken möglich, die vor der Einführung dieser neuen Abbaumethode unberührt in der Tiefe steckenbleiben mußten und mit dem Fortschreiten des Abbaues gewöhnlich endgültig verloren gingen.

Von der größten Bedeutung sind sowohl Pfeilerbruchbau wie Abbau mit Spülversatz in Deutschland beim Steinkohlenbergbau Oberschlesiens. Die meisten der dort abgebauten Flöze sind von so bedeutender Mächtigkeit, daß bei den Gesteinsarbeiten in den Gruben bei weitem nicht in hinreichender Menge Berge gewonnen werden, um die Abbaue damit versetzen zu können. Die fortschreitende Bebauung mit Wohnorten und industriellen Anlagen schränkt den früher ausschließlich angewandten Pfeilerbruchbau in starkem Maße ein und würde dazu zwingen, unterirdische Schätze von beträchtlichem Werte verloren zu geben, wenn nicht der Spülversatz hier helfend einträte.

Beim Pfeilerbruchbau werden die Bauabteilungen gleichfalls durch Abbaustrecken in einzelne Streifen zerlegt. Innerhalb eines jeden Abbaustreifens werden schmale lange Abschnitte, Pfeiler, in der ganzen Breite der Abbaustreifen ausgekohlt. Hierbei wird das Hangende dort, wo es freigelegt worden ist, sofort mit Holzstempeln unterfangen und einstweilen am Hereinbrechen gehindert. Wenn der ganze Pfeiler ausgekohlt ist, so bilden die Stempel darin in ihrer großen Zahl geradezu einen kleinen Wald, durch dessen Stämme das ungeübte Auge nur langsam hindurchfindet (Abbildung 41). Um den ausgekohlten Pfeilerraum werden Reihen dicht aneinanderstehender Holzstempel, Orgeln genannt, gesetzt. Ist diese Sicherung vollendet und der Pfeiler von Kohle so weit befreit, als ohne leichtfertige Gefährdung von Menschenleben angängig ist, so wird auch hier — ähnlich wie im Braunkohlenbergbau — das Holz aus dem ausgekohlten Pfeiler geraubt. Die Stempel, welche die Last hauptsächlich tragen, bleiben jedoch stehen und gehen verloren. Die auf ihnen ruhenden Gesteinsmassen lösen sich allmählich aus dem Schichtenzusammenhang, drücken dann nach und nach mit voller Last auf die Stempel und zerbrechen sie (Abbildung 42). Das Hangende geht zu Bruch, und der Pfeiler füllt sich hinter den Orgeln mit den hereingebrochenen Massen, dem „Alten Mann". Die Orgeln schützen die Nachbarpfeiler vor dem Alten Mann und müssen, um diesen Zweck erfüllen zu können, gelegentlich sogar aus doppelten Reihen dicht aneinandergestellter starker Stempel hergestellt werden. Dieser Abbau erfordert stets einen großen Aufwand von Holz. Nach den Orgeln bereits geschlagener Brüche hin darf nur mit großer Vorsicht ausgekohlt werden. In der Regel muß entlang diesen Orgeln eine mehr oder weniger starke Rippe von Kohle, ein Kohlenbein, stehengelassen und endgültig verloren gegeben

werden. Wie bei der geschilderten oberschlesischen Methode, so sind auch die durch andere Flözverhältnisse bedingten übrigen Ausführungsarten des Pfeilerbruchbaues vielfach mit der Notwendigkeit ähnlicher Kohlenverluste verbunden. Infolgedessen ist mit dem Pfeilerbruchbau fast überall eine Einbuße an Nationalvermögen verbunden. Schon aus diesem Grunde ist es mit Freuden zu begrüßen, daß er heute manchenorts durch andere Abbauweisen ersetzt worden ist. Immerhin steht er aber noch stark in Übung und hat unter Umständen auch heute noch seine volle Berechtigung.



Abbildung 41. Pfeilerabbau in einem mächtigen oberschlesischen Steinkohlenflöz.
(Nach einer Aufnahme von M. Steckel, Verlag von R. Giebler, Königshütte, O. S.)

Am meisten Abbruch hat ihm die Einbürgerung des Abbaues mit Spülversatz getan. Hierbei wird Sand und anderes feinkörniges oder auch kleinstückiges Material mit einem Wasserstrom in die ausgekohlten Räume gespült (Abbildung 43). Das Wasser fließt daraus ab, die eingespülten Massen lagern sich ganz dicht aufeinander und erfüllen die Hohlräume weit vollständiger, als ein Bergeversatz es selbst bei sorgsamster Ausführung tun kann. Von großer Bedeutung ist die Art des Materials, das zur Verfügung steht. Am besten ist möglichst reiner Quarzsand. Auch mit Mischungen von Kohlenschieferstücken und Sand, mit feinkörniger Hochofenschlacke, zerkleinerten Bergen aus der Grube und anderen Materialien wird mit mehr oder minder gutem Erfolge gearbeitet. — Diese Stoffe werden zumeist sogleich an der Erdoberfläche mit Wasser vermischt, seltener trocken in die Tiefe geschickt und dort erst mit dem Wasserstrom zusammengebracht. Wenn Sandlager in der unmittelbaren Nähe des Einspülschachtes vorhanden sind oder hier künstlich angesammelt werden können, wie verschiedentlich in Oberschlesien, so wird der Sand mit Vorteil durch starken Wasserstrahl direkt vom Lager dem Einsturzloch zugespült. Andernfalls müssen die Wagen, welche das feste Material heranbringen, über dem Einsturzloch entleert werden. Dies geschieht regelmäßig in einen Trichter, welcher mit einem Roste unten abgeschlossen ist. Nur das feinere Material, welches zwischen den Eisenstäben des Rostes hindurch kann, soll in die Tiefe gehen. Gleich in dem Aufgabetrichter spritzt ihm aus vielen Öffnungen verschiedener Leitungen Wasser entgegen und mischt sich dadurch aufs innigste mit ihm. Der Strom fällt durch gußeiserne Rohrleitungen den Schacht hinunter und wird von ihm aus den Abbauabteilungen zugeführt. In diesen sind die ausgekohlten Hohlräume, die Pfeiler, mit leichten Holzverschlägen abgeschlossen, die mit Sackleinwand, Drahtgewebe oder anderen hierfür

geeigneten Stoffen abgedichtet sind. Hinter diesen Verschlägen häuft sich das durch den Spülstrom hereingeschleuderte feste Material bis dicht unter das Hangende auf, während reines Wasser durch die Verschläge abläuft. Mit dem Einspülen wird fortgefahren, bis der ganze Pfeiler ausgefüllt ist. Sobald das Wasser nur einigermaßen verschwunden ist, backen die Teile des Versatzes dermaßen aneinander fest, daß sie gar keine Neigung mehr haben, abzubröckeln oder gar auseinanderzustürzen, wenn die Verschläge fortgenommen werden. Das Ausfüllen selbst so weiter Hohlräume wie der oberschlesischen Kohlenpfeiler vollzieht sich in der kurzen Zeit von wenigen Stunden.

Im Betriebe entstehen bei dem Verfahren die wesentlichsten Schwierigkeiten in den Rohrleitungen. Deren Länge ist bei ausgedehnten Gruben eine große; sie geht bis zu 35 km in der Königin-Luisen-Grube. Es ist leicht zu verstehen, daß Rohrleitungen, durch welche scharfes und hartes Material wie Sand und dergleichen mit einem Druck von 20—30, bei tiefen Gruben auch 40—50 Atmosphären hindurchgefegt wird, starkem Verschleiß ausgesetzt sind, und daß diese Abnutzung bei den bedeutenden Längen, die hier in Frage kommen, hohe Kosten verursacht. Zu deren Verminderung sind die verschiedensten Rohrarten und Futtermaterialien versucht worden. Das in der Anschaffung teuerste hat sich im Betriebe mit am besten bewährt und macht sich deswegen bezahlt: Porzellan. So wunderbar es dem Fernerstehenden klingen mag: Tausende von Metern Spülversatzleitungen in unseren Steinkohlenbergwerken sind mit Porzellanmasse ausgefüttert! Das zum Spülen verwandte Wasser wird in der Grube geklärt, in die Höhe gepumpt und in stetem Kreislauf immer wieder verwandt. Diese Wasserhebung bildet einen anderen wesentlichen Faktor in den Unkosten. Von Bedeutung ist daher, daß möglichst wenig Wasser zur gehörigen Durchmischung des Versatzgutes benötigt wird, möglichst dem Gewichte nach nicht mehr Wasser als festes Material. — Die anfänglich gehegte Hoffnung, daß nach der Anwendung des Spülversatzes die schädlichen Einwirkungen des Abbaues auf die Erdoberfläche so gut wie ganz aufhören würden, hat sich zwar nicht erfüllt. Selbst die geringe Volumenverminderung von 5%, die die eingespülten Materialien unter dem Gebirgsdruck mindestens erfahren, macht sich bei den mächtigen Flözen, bei welchen



Abbildung 42. Hereinbrechen von „Altem Mann“ im oberschlesischen Steinkohlenbergbau.
(Nach Aufnahme von M. Steckel, Verlag R. Giebler, Königshütte, O. S.)

das Verfahren allein in Frage kommt, doch an der Erdoberfläche bemerkbar. Immerhin aber sind diese Spuren ungleich geringer als diejenigen, welche selbst der beste von Hand ausgeführte Bergeversatz bei anderen Abbauarten an der Erdoberfläche nach sich zieht. So hat denn die Bergbehörde in Deutschland auch den Abbau der Steinkohlenflöze mit Spülversatz selbst unter Eisenbahnen und wichtigen Kanalanlagen zugelassen, und dies gar bei den mächtigen oberschlesischen Flözen, wo selbst kleine prozentuale Schrumpfmaße des Versatzes bereits nennenswerte Maße der Bodensenkung im Gefolge haben.



Abbildung 43. Spülversatz in einem mit eisernen Stempeln verbauten Zwickauer Steinkohlenabbau.

Der große wirtschaftliche Nutzen, den der Spülversatz schafft, liegt aber nicht allein darin, daß er eine gründlichere Ausnutzung unseres nationalen Kohlenschatzes erlaubt: darüber hinaus verbilligt er den Gesamtbetrieb der Steinkohlenbergwerke dort, wo er angewandt werden kann, weil einmal die Generalunkosten sich auf eine größere gewinnbare Kohlenmenge verteilen und weil zum andern bei der sozusagen restlosen Gewinnung der Kohle der Betrieb besser in systematischer Weise durchgeführt werden kann, als wenn wegen der Notwendigkeit einer weitgehenden Rücksichtnahme auf die Erdoberfläche manche Flözstücke unberührt liegenbleiben müssen.

Bedauerlich ist unter diesen Umständen nur, daß die Durchführbarkeit des Spülversatzes von dem Vorhandensein geeigneten Spülmaterials in den notwendigen ungeheuren Mengen abhängig ist. Das Ruhrrevier kann ihn deswegen nur in beschränktem Maße anwenden. Glücklicherweise ist Oberschlesien, bei dessen mächtigen Flözen der Spülversatz am meisten Segen schaffen kann, darin besser gestellt. Aber auch hier mangelt es in der unmittelbaren Nähe der Bergwerke an den nötigen Versatzmassen. Der Staat hat deswegen für seine dortigen Zechenanlagen eine 15 km lange Schleppbahn zur Heranbeförderung des Versatzmaterials zu seinen Schächten bauen müssen, und soeben schickt eine Anzahl von oberschlesischen Privatgruben sich an, diesem Beispiel zu folgen: eine 27 km lange Bahn wird für 6,6 Millionen Mark nur zu dem Zwecke erbaut, um einen beträchtlichen Teil der oberschlesischen Privatgruben mit Spülversatzmaterial zu versorgen. Durch diese Zahlen wird gut beleuchtet, welche Bedeutung dieses moderne Verfahren für unsere Volkswirtschaft hat.

DIE SICHERUNG DER GRUBENRÄUME UND DIE GEFAHREN DES STEINKOHLENBERGBAUES. Die Grubenräume, welche der Bergmann unter Tage schafft, müssen ihm nach bester Möglichkeit einen sicheren Aufenthalt gewähren. Wir sahen

schon, daß die Schächte mit Holz, Mauerung, Beton oder Eisen verkleidet, daß die Abbaue mit Holz verbaut werden. Dieser Holzausbau der Abbaue verschlingt fortwährend ausgedehnte Waldungen. Der Wert des jährlichen Holzverbrauchs allein im deutschen Steinkohlenbergbau dürfte über den Betrag von 150 Millionen Mark hinausgehen. Wo die besonderen Umstände es zulassen, werden neuerdings mit gutem Erfolg eiserne Stempel benutzt (Abbildungen 43 und 62). Sie bestehen aus zwei Teilen, die nach Lösen eines Verschlusses ein teleskopartiges Einschieben des einen in den anderen Teil zulassen. Dieser Verschluß kann mit langen Hebeln, Haken oder Ketten aus einiger Entfernung geöffnet werden, so daß die Bergleute nicht dicht an den Stempel zu treten brauchen, wenn durch das Zusammenschieben der beiden Stempelteile dem Hangenden die bisherige Stütze genommen wird. Der Stempel wird beim Umfallen von sicherem Ort aus an dem Haken oder der Kette herangerissen und kann von neuem verwandt werden. Wenn er öfter als sechsmal benutzt werden kann, so stellt sich sein Gebrauch im allgemeinen billiger als derjenige von hölzernen Stempeln. Die Strecken, Aufhauen, Bremsberge und wie die verschiedenen Gänge alle heißen, welche der Bergmann anlegt, bedürfen, soweit sie nur durch festes Gestein führen, meist gar keines oder nur eines geringen Ausbaues. In gebrächem Gestein und in der Kohle dagegen müssen sie mehr oder weniger stark verzimmert werden (Abbildung 44). Sollen sie viele Jahre hindurch benutzt werden, so werden sie am besten ausgemauert oder ausbetoniert. Wie im Bauwesen über Tage, so erobert sich der Eisenbetonbau auch unter Tage neuerdings immer weitere Gebiete. Welche Bedeutung ein guter Ausbau, besonders im Abbau, hat, geht daraus hervor, daß diejenigen Unfälle, welche durch herabfallende Stücke oder hereinstürzende Massen von Gestein und Kohle verursacht werden, an Zahl weit größer sind als die durch irgendwelche anderen Ursachen im Bergbau herbeigeführten Unfälle.

Aber mit dem genügenden Ausbau allein ist es noch nicht getan; für Menschen und Pferde müssen in den Grubenräumen auch die Lebensbedingungen vorhanden sein. Mit je 35 m, die wir in die Erdrinde eindringen, steigt im allgemeinen die Gesteinstemperatur um 1° Celsius über unsere mittlere Jahrestemperatur von 9°. Bis zu 1600 m ist in Nordamerika der Erzbergbau, über 1000 m schon in Europa der Steinkohlenbergbau hinabgedrungen. Das sind Teufen, in denen mit 30 bis 50° Gesteinstemperatur gerechnet werden muß. Darin können wir zwar noch leben, aber nicht mehr arbeiten. Da bedarf es der Zufuhr großer Mengen von frischer, kühler Luft, um die Temperatur der Grubenräume auf ein erträgliches Maß hinabzudrücken.

Aber selbst in Tiefen mit angenehmen Wärmeverhältnissen muß Sorge dafür getragen werden, daß die Grubenluft, die ständig durch das Atmen und die Ausdünstungen von Menschen und Pferden sowie durch die Zersetzung von Holz und anderen Stoffen an Sauerstoff verliert und an Temperatur zunimmt, in hinreichendem Maße erneuert wird. Das ist der Fall, wenn so viel frische Luft in die Grube einzieht, daß davon in der Minute auf den Kopf jedes Bergmannes 1½—2 cbm und auf jedes Pferd 5 cbm kommen.

Eine stärkere Zufuhr „frischer Wetter" aber ist notwendig, wenn gefährliche Gase im Bergwerk auftreten. Kohlensäure, Kohlenoxyd und Schwefelwasserstoff spielen im Steinkohlenbergbau eine untergeordnete Rolle gegenüber dem Grubengas. Aus dem geologischen Kapitel wissen wir bereits, daß die Steinkohlen in beträchtlichen Mengen Kohlenwasserstoffe enthalten und daß diese ganz überwiegend aus Methan oder Grubengas (CH_4) bestehen. Man schätzt, daß im Ruhrrevier im großen Durchschnitt 1 cbm Kohle rund 9 cbm Grubengas enthält. Vielfach kommen bedeutend höhere

Mengen vor, so ausnahmsweise solche von über 250 cbm auf 1 cbm Kohle! Bestände das im Ruhrrevier ausströmende Grubengas aus Leuchtgas, so könnte damit der Bedarf einer Stadt von 30- bis 40000 Einwohnern bequem gedeckt werden.



Abbildung 44. Hölzerner Streckenausbau. Fangtse Steinkohlenbergwerk der Schantung-Bergbaugesellschaft, Berlin.

Das Grubengas ist brennbar, d. h. auf eine bestimmte Temperatur erhitzt, nimmt es Sauerstoff unter Flammenbildung auf. Es verbrennt dabei zu Kohlensäure und Wasser. Zur vollständigen Verbrennung braucht ein Raumteil Grubengas zwei Raumteile Sauerstoff oder, da der Sauerstoffgehalt der Luft nur ein Fünftel ihres Volumens ausmacht, zehn Raumteile Luft. In die Luft ausströmendes Grubengas verbrennt angezündet mit hellblauer, wenig leuchtender Flamme in harmloser Weise. Entzündet sich jedoch ein Gemisch von Luft und Grubengas, so findet die Verbindung der Bestandteile des Grubengases mit dem Sauerstoff der Luft sehr plötzlich statt. Die chemische Umsetzung ist zugleich von einer erheblichen Wärmeentwicklung begleitet. Die gasförmigen Endprodukte werden dadurch plötzlich stark ausgedehnt, und die Erscheinung einer Explosion ist da. Dem ersten Schlag folgt sogleich ein zweiter, ein Rückschlag, weil das bei der Verbrennung neben der Kohlensäure gebildete Wasser sich alsbald zu Tropfen verdichtet und dadurch das Volumen der Gase eine Verringerung erfährt. Diese Schläge, welche die Explosion begleiten, haben dem gefährlichen Gemisch von Grubengas und Luft die Bezeichnung „schlagende Wetter“ oder „Schlagwetter“ eingebracht. Die Erscheinung ist am heftigsten, wenn sich gerade so viel Luft mit Grubengas vermischt hat, als zu dessen vollständiger Verbrennung nötig ist. Daher ergibt ein Gehalt der Grubenluft an Grubengas von ungefähr 1/10 oder genau berechnet 9,5% das gefährlichste Gemisch. Wenn der Gehalt der Luft an Grubengas unter 5% herunter- oder über 14% hinübergeht, so findet keine Explosion mehr statt. Eine solche ist vielmehr nur möglich in diesen Grenzen von 5 und 14%. Bei geringerem Gehalt verbrennt das Grubengas ohne Schlagwirkung, bei höherem Gehalt erlischt darin eine Flamme. Immerhin sind auch solche dünnen und starken Gemische bedenklich und fordern äußerste Vorsicht, da sie gar zu leicht in explosible Gemische übergehen können.

Das Grubengas entströmt regelmäßig der freigelegten Oberfläche der Steinkohle. Es macht sich dabei oft durch ein mit Knistern — „Krebsen“ — verbundenes Abspringen kleiner Kohlenstückchen bemerkbar. Enthält die Steinkohle große Mengen

von Grubengas, so ist der erste Aufschluß derartiger Flöze gefährlich. Es können dann von den bis dahin durch das umgebende Gestein eingeschlossenen Gasen große Mengen plötzlich die Möglichkeit des Ausströmens erhalten und sich in Gestalt heftiger Gasausbrüche Luft machen. Das furchtbare Unglück von Radbod hat wahrscheinlich in einem derartigen elementaren Ereignis seinen Grund. Glücklicherweise sind sie dem deutschen Steinkohlenbergbau im allgemeinen fremd. Der belgische Steinkohlenbergbau ist von solchen Gasausbrüchen dagegen stark heimgesucht. Der bedeutendste ereignete sich 1875 auf der Grube l'Agrappe bei Frameries. Er ließ die Gasmassen aus 610 m Tiefe bis zu den Schächten herausknallen, wo sie sich entzündeten, in die Grube zurückschlagend Schlagwetterexplosionen hervorriefen und dadurch auch in die entlegensten Teile, die der ersten Wirkung des Gasausbruches entgangen waren, Tod und Verderben brachten.

Das Grubengas sammelt sich naturgemäß auch in den Spalten, welche die steinkohlenbergenden Schichten durchziehen. Weil die meisten dieser Klüfte zahlreiche Flöze durchschneiden, so finden sie mannigfache Gelegenheit, den Kohlen Grubengas zu entziehen. Sie bilden dafür natürliche Vorratsbehälter, die sich längere Zeit hindurch in dem Maße immer wieder füllen können, als ihnen etwa Grubengas entnommen wird. Da das Grubengas in den Klüften unter Überdruck steht, so bläst es, wenn der Bergbau solche gaserfüllten Spalten freilegt („anfährt"), in mehr oder minder starkem Strom aus der Kluft heraus. „Bläser" werden darum derartige Ausströmungen von Grubengas genannt. Solche Bläser können sehr bald aufhören, aber auch lange andauern. So gaben eine ganze Reihe von Bläsern jahrelang in jeder Minute mehrere Kubikmeter Grubengas. Bei derart stetigen Gasquellen ist die böse im Grubengas liegende Kraft gelegentlich wohl schon gebändigt und längere Zeit hindurch zum Antriebe von Gasmotoren benutzt worden.

Zur Entzündung des Grubengases reicht schon die Hitze aus, welche ein Streichholz abgibt. Eine offene Flamme darf daher in einem Steinkohlenbergwerk mit irgend nennenswerter Grubengasentwicklung absolut nicht geduldet werden. Dies ist von besonderer Bedeutung für „das Geleucht" des Steinkohlenbergmannes. Er darf nicht „mit offenem Licht" arbeiten wie sein Kamerad im Erz-, Salz- und Braunkohlenbergbau, muß vielmehr die Sicherheitslampe (Abbildung 45) zur Hand nehmen.

Bei der von dem Engländer Davy erfundenen Sicherheitslampe ist die Flamme ringsum von einem dicken Glaszylinder umgeben, durch den sie ihr Licht ausströmt. Der Glaszylinder sitzt wohl abgedichtet auf einem runden Stahlblechgehäuse, welches den Brennstoff — heute in der Regel Benzin — enthält. Seinen oberen Abschluß erhält der Glaszylinder durch eine kegelförmige, oben geschlossene Haube aus feiner Messingdrahtgaze. Durch die Maschen dieses Drahtgewebes findet die Luft, die zur Unterhaltung der Flamme notwendig ist, den Weg zu ihr, und die Verbrennungsprodukte entweichen ihrerseits gleichfalls durch das Drahtnetz. Dieses Drahtnetz bildet den wesentlichsten Teil der Lampe. Durch die verhältnismäßig große Oberfläche, welche die Drähte eines solchen Netzes bilden, kühlen sich die von der Lampenflamme kommenden Verbrennungsgase derartig ab, daß sie nicht mehr imstande sind, Grubengas, wenn es die Lampe umgibt, zu entzünden. Selbst wenn Grubengas in das Innere der Lampe eingedrungen ist und darin an der Lampenflamme brennt, so kann zwar der Drahtkorb rotglühend werden, aber wenn die Lampe ruhig gehalten wird, geht die Entzündung nicht durch den Drahtkorb auf das ihn außen umströmende Grubengas über. Wohl aber kann das vorkommen, wenn die Lampe heftig in grubengasgeschwängerter Luft bewegt wird oder Grubengas durch die Lampe

hindurchgeblasen wird. Durch Verdoppelung des Drahtkorbes kann die Sicherheit zwar erhöht werden, der Schutz, welchen die Lampe gewährt, ist aber auch dann kein unbedingter, sondern hängt immer noch stark von der Vorsicht ab, mit der die Lampe beim Auftreten von Grubengas gehandhabt wird.

In den glücklicherweise seltenen Fällen, wo Grubengas plötzlich unter sehr starkem Druck aus Bläsern austritt, kann eine Entzündung an der Sicherheitslampe und eine Schlagwetterexplosion wohl erfolgen, wenn der Gasstrom durch den Drahtkorb der Lampe heftig hindurchströmt. Wo derartiges einigermaßen vorausgesehen werden kann, wie z. B. beim Aufschluß ganz neuer, noch gar nicht entgaster Feldesteile, schaffen zwar elektrische Traglampen nach dieser Richtung Sicherheit, dienen aber nicht wie die Davysche Sicherheitslampe auch als Warner und möchten bei allgemeiner Anwendung die Bergleute leicht in Sicherheit wiegen, sie sorglos und leichtsinnig machen.



Abbildung 45. Sicherheitslampe. Links im Durchschnitt, rechts Außenansicht.

Die Sicherheit, welche die Davysche Lampe trotzdem bietet, wird eben wesentlich erhöht dadurch, daß sie gleichzeitig der **beste Warner** vor Schlagwettergefahr ist. Bei kleingeschraubter Flamme macht sich schon ein Gehalt der Grubenluft an Grubengas von 1% an einem feinen, ganz leicht hellblau gefärbten durchsichtigen Flammenkegel (Aureole), einem Saum, der die Lampenflamme einhüllt, kenntlich. Bei höherem Gehalt wächst die Aureole. Wenn das Gemisch von Luft und Grubengas das gefährliche Verhältnis zwischen 5—14% hat, so erlischt die Lampenflamme, und es verbrennen dann nur die von außen zuströmenden Schlagwetter innen im oberen Teil des Korbes. Bei über 14% Grubengas geht die Flamme ganz aus. Viel hat man nach zuverlässigen Indikatoren für Schlagwetter gesucht: die Sicherheitslampe ist der bisher einzig brauchbare und obendrein ein **ausgezeichneter** Indikator.

In guter moderner Ausführung ist die Sicherheitslampe mit einem Verschluß versehen, der nur durch einen starken Magneten, also nicht vom Bergmann selbst, geöffnet werden kann. Das darf nur in der Lampenbude (Abbildung 46) über Tage geschehen, wo alle Lampen von besonders eingeübtem Personal täglich geputzt, nachgesehen und zu neuem Gebrauch hergerichtet werden. Geht dem Bergmann seine Sicherheitslampe einmal aus, so kann er selbst sie mit einer künstlichen Zündvorrichtung, die innerhalb des Glaszylinders zur Wirkung kommt und von außen betätigt wird, leicht wieder anstecken.

Grubengas ist leichter als die Luft, es sammelt sich daher mit Vorliebe am Hangenden, in Höhlungen, sogenannten „Auskesselungen", an der Firste. Sache des

Aufsichtspersonals ist es, alle diese Schlupfwinkel der Schlagwetter stets sorgsam zu beobachten. Zur Prüfung wird die Lampenflamme ganz klein geschraubt und dann die Lampe vorsichtig in die Aushöhlung hinaufgehoben (Abbildung 47). Zeigen sich bei diesem „Ableuchten" die für Schlagwetter charakteristischen Lichterscheinungen, so muß die Lampe ebenso behutsam und langsam wieder heruntergenommen werden. Die Feststellung einer Ansammlung von Schlagwettern ist für den Bergmann noch kein Grund zu sonderlicher Beunruhigung. Es dürfte wohl kaum ein größeres Steinkohlenbergwerk geben, wo sich nicht an jedem Tage an einer Stelle Schlagwetter nachweisen ließen. Sie sind unvermeidlich. Allerdings wird solcher Ansammlung nicht müßig zugesehen: sobald sie entdeckt ist, werden die ihr nächstgelegenen Arbeitspunkte am besten geräumt und unbedingt sogleich energische Maßnahmen ergriffen, um die Schlagwetter zu vertreiben. Aber alles das in ruhiger Überlegung und ohne Hast, denn das rechtzeitige Erkennen bedeutet auch hier im allgemeinen schon Sicherheit vor der Gefahr. Die Beseitigung der Schlagwetter geschieht dadurch, daß zu der Stelle, wo sie sich gezeigt haben, in verstärktem Maße frische Luft, frische „Wetter" hingeleitet werden und auf diese Weise der Gehalt der Grubenluft an Grubengas auf einen unschädlichen Betrag gebracht wird. Als solchen kann man ein unter 1% liegendes Maß ansehen.



Abbildung 46. An der Lampenbude einer Steinkohlenzeche.

Das einzige Mittel zur Verhütung bedenklicher Konzentrationen von Grubengas in den Grubenwettern liegt bei den starken Ausströmungen von Grubengas, die in den meisten Steinkohlenbezirken ständig aus den Flözen erfolgen, darin, hinreichend große Mengen frischer Wetter durch die Grube zu schicken und damit fortwährend eine weitgehende Verdünnung des massenhaft auftretenden Grubengases zu bewirken. Deswegen müssen durch Schlagwettergruben sehr viel größere Wettermengen durchgeleitet werden, als — wie wir oben sahen — lediglich für die Atmung von Mensch und Pferd erforderlich sind, und zwar wenigstens 1,5 cbm in der Minute auf 1 t der Kohlenförderung, mindestens jedoch 3 bis 4 cbm in der Minute auf den Kopf der Belegschaft.

Da die unterirdischen Räume sich nicht beliebig erweitern lassen, man bei ihnen vielmehr an gewisse enge Grenzen gebunden ist, so bleibt nichts anderes übrig, als dem Wetterstrom, der durch die Grube zieht, eine solche Geschwindigkeit zu geben, daß hierdurch die nötige Verdünnung des Gemisches von Luft und Grubengas erreicht wird. Diese Geschwindigkeit wird dem Wetterstrom von einem Ventilator erteilt, der, über einem Schacht aufgestellt, die Grubenwetter ständig scharf ansaugt. Nach diesem ausziehenden Schacht führen alle die mannigfaltigen unterirdischen Wege



Abbildung 47. Ableuchten von Schlagwettern.

schließlich hin, welche die Grubenwetter zu durchlaufen haben. Die frischen Wetter fallen durch einen oder mehrere andere „einziehende" Schächte in die Grube. In mehreren Hauptströmen werden sie den einzelnen Revieren der Grube zugeleitet und verteilen sich hier in vielfacher Verästelung in eine große Zahl von Teilströmen. Mit verbrauchten Wettern beladen, von Wasserdunst und Grubengas durchsetzt, treffen sie alle auf der Wettersohle wieder zusammen und vereinigen sich zum Hauptausziehstrom. Damit die frischen Wetter nicht vorzeitig zu den ausziehenden Strömen verbrauchter Wetter hinzugelangen können, müssen die einzelnen Wetterströme in der Grube sorgfältig voneinander getrennt werden. Wettertüren, Wetterscheider, Leitungen von Lutten aus verzinktem Eisenblech u. a. m. dienen dazu, die Wetter zu bestimmten Wegen zu zwingen und die Ströme voneinander zu trennen. Zur Bewetterung der äußersten Punkte von Sackgassen wird neuerdings in zunehmendem Maße die Arbeit des Hauptventilators durch kleine, vor den Sackgassen in den Wetterstrom eingeschaltete Sonderventilatoren unterstützt.



Abbildung 48. Großer Grubenventilator der Zeche Radbod in Westfalen.

Die Hauptventilatoren müssen für größere Schlagwettergruben von beträchtlichem Umfange sein. In modernen Betrieben sind solche, welche in der Minute über 10000 cbm durch die Grube jagen, keine Seltenheit mehr (Abbildung 48). Derartige Leistungen werden nur mit Zentrifugalventilatoren oder Schleuderrädern (Abbildung 49) erzielt. Von dem oben durch einen Deckel möglichst luftdicht abgeschlossenen Wetterschacht zweigt etwas unter der Erdoberfläche der Auszieh-

kanal ab (Abbildung 50) und mündet in den zentralen, um die Achse des Ventilators herumliegenden Raum ein. Die hier ankommenden Wetter werden durch das um dieses Zentrum sich drehende Schaufelrad gefaßt und nach dessen Peripherie geschleudert. Das schneckenhausförmige Gehäuse des Ventilators läßt durch seine nach oben gerichtete und allmählich sich erweiternde Mündung den in tangentialer Richtung von dem Ventilatorrade abgeschleuderten Wetterstrom in das Freie entweichen. Durch die Umdrehung des Schaufelrades, dessen Umfangsgeschwindigkeit neuerdings bis auf 60 m in der Sekunde geht, wird in dem Wetterkanal eine Luftleere (ein Unterdruck) erzeugt, die als Depression bezeichnet wird und eine saugende Wirkung auf den aus der Grube kommenden Wetterstrom ausübt.



Abbildung 49. Schleuderrad eines großen Grubenventilators.

Mit einer hohen Leistungsfähigkeit des Ventilators allein ist es aber nicht getan: die Wetterwege in der Grube müssen so eingerichtet werden, daß die Wetter auf ihnen möglichst wenig Widerstände finden. Sie müssen weit genug sein, aus den Wänden sollen möglichst wenig Hemmnisse herausragen, die Ecken müssen hübsch abgerundet sein, und was dergleichen wichtige Erleichterungen mehr sind. Die Aufrechterhaltung und günstige Gestaltung der Wetterwege erfordert dauernd viel Arbeit und bedingt mancherlei Kosten, macht sich aber durch Kraftersparnisse am Ventilator und vor allem durch Ausbleiben von Betriebsstörungen, die mit jedem Auftreten von Schlagwettern, besonders aber mit etwaigen Explosionen verbunden sind, reichlich bezahlt. Für die Kontrolle aller Wettereinrichtungen trägt auf jeder Grube ein besonderes Personal von Vorarbeitern, Wetterleuten und Wettersteigern Sorge. Von deren Gewissenhaftigkeit hängt das Leben Tausender ihrer Kameraden ab.

Die Schlagwettergefahr wird verschärft dadurch, daß auch der Steinkohlenstaub explosibel ist. Zwar läßt sich eine Aufwirbelung von Staub der Steinkohle nicht wie bei der Braunkohle schon mit einer Flamme entzünden. Selbst der elektrische Lichtbogen bringt das nicht fertig. Wohl aber wird diese Entzündung von Steinkohlenstaub in der Luft herbeigeführt durch heftige Schläge, wie sie von den Sprengschüssen ausgehen oder Schlagwetterexplosionen zu begleiten pflegen. Eine Grubengasexplosion wirbelt nicht nur den Kohlenstaub weithin auf und erzeugt das explosionsgefährliche Gemisch von Kohlenstaub und Luft, sondern bringt es auch durch ihre Schläge zum Explodieren. Der Kohlenstaub verbreitet dann die Explosion weit über ihren Herd hinaus. Auf sein Konto sind daher durchweg die weitgehenden traurigen Folgen von

Explosionen zu setzen, bei denen nur geringe Schlagwetteransammlungen mitwirkten. Der Kohlenstaub von Fettkohlen hinterläßt nach einer Explosion an den dem Explosionsherd zugewendeten Seiten des Grubenausbaues glänzende Koksperlen. Nach

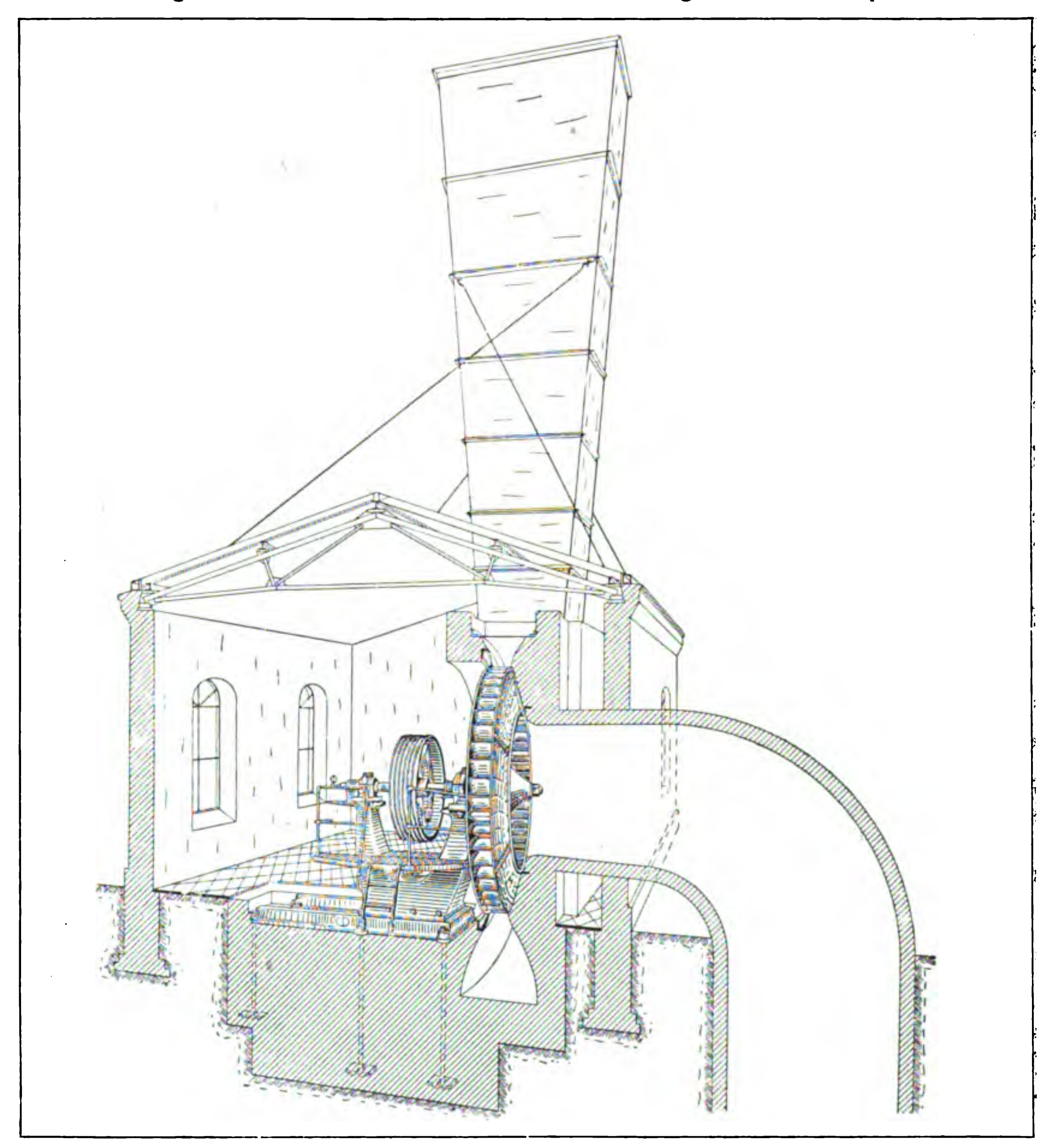


Abbildung 50. Anordnung einer Grubenventilatoranlage.

diesen kann man den Weg, den die Explosion genommen hat, und die Mitwirkung des Kohlenstaubes deutlich feststellen. Da Schlagwetter sich bei unserer heutigen Fürsorge immer nur ausnahmsweise an vereinzelten, ganz wenigen Punkten der Gruben befinden, so muß nach diesen Anzeichen angenommen werden, daß alle Ex-

plosionsunglücke, welche sich über größere Gebiete der Grube verbreitet haben, nur durch die verhängnisvolle Mitwirkung des Kohlenstaubes zustande gekommen sind.

Zu seiner Beseitigung kann die Grubenbewetterung nicht beitragen. Im Gegenteil wirkt die flotte Abführung der verbrauchten Wetter aus der Grube austrocknend, und unsere ausgezeichnete moderne Wetterführung begünstigt eher die Entstehung von Kohlenstaub, als daß sie ihr hinderlich ist. Das beste Mittel, die Entwicklung des Kohlenstaubes einzuschränken und unvermeidlichen Aufwirbelungen ihre Gefährlichkeit zu nehmen, besteht in einer gehörigen Befeuchtung der Kohle und der Wände der Grubenräume. Aufwirbelungen von Kohlenstaub können in Räumen mit feuchten Wänden oder einem wärmeverzehrenden Anstrich, wie er neuerdings mit Erfolg versucht worden ist, nicht zur Entzündung gebracht werden, da die Feuchtigkeit offenbar so viel Wärme absorbiert, daß ein zur Entzündung des Kohlenstaubes hinreichendes Maß von Hitze nicht mehr übrigbleibt. Der Kohlenstaub verschiedener Kohlenarten differiert in seiner Gefährlichkeit. Am leichtesten entzündlich ist Staub von Fettkohlen, am wenigsten derjenige von Magerkohlen. Die Fettkohlen sind, wie wir im einleitenden Kapitel sahen, Humuskohlen und darum von verhältnismäßig lockerem Gefüge, porenreich. Preßt man durch Bohrlöcher Wasser unter hohem Druck von 20—40 Atmosphären in Fettkohle hinein, so durchtränkt das Wasser allmählich die angebohrte Kohlenpartie ganz und gar. Sie lockert sich dabei überdies derart, daß ihre Gewinnung erleichtert wird. Vor allem aber wird sie dadurch derart durchnäßt, daß bei ihrer Gewinnung in manchen Fällen kaum noch Kohlenstaub entsteht. Mit diesem Meißnerschen Stoßtränkverfahren sind soeben in Westfalen Erfolge erzielt worden, die zu der Hoffnung berechtigen, daß hierdurch gerade den schlimmsten Kohlenstauberzeugern, den Fettkohlen, einiges von ihrer Gefährlichkeit genommen werden kann. Die anderen Kohlenarten lassen sich selbst bei Anwendung sehr hohen Druckes — bis 120 Atmosphären — nicht durchtränken. Zum Teil hat dies seinen Grund darin, daß sie in stärkerem Maße aus Faulschlammbildungen bestehen, deren Gefüge ein sehr viel dichteres ist als dasjenige der Humuskohlen. Einstweilen steht das Stoßtränken aber noch vereinzelt da, und der Kohlenstaub wird jetzt allgemein erst dann bekämpft, wenn er da ist. Zu dem Zwecke sind in kohlenstaubgefährlichen Gruben weitverzweigte Berieselungsanlagen geschaffen: Wasserleitungsnetze, die an zahlreichen Stellen den Anschluß von Spritzapparaten gestatten. In den Abbauen enden die Leitungen in Gummischläuche, mit denen der Arbeitsort und die anstoßende Strecke abgespritzt und ständig feuchtgehalten werden (Abbildung 51). Der Übertragung von Explosionen sollen Streudüsen vorbeugen, die den ganzen Querschnitt von Strecken, Bremsbergen, Bremsschächten usw. mit einem Wasserschleier durchziehen. Bei ausgedehnten neueren Steinkohlenzechen haben die Berieselungsleitungen häufig eine Länge von 30—40 km, erreichen jedoch auf manchen weit größere Längen und sind in einzelnen Fällen heute sicherlich über 150 km lang. Die Berieselung erfordert für eine Tonne Kohle 20—100 Liter Wasser und hat im Ruhrrevier eine Erhöhung der Selbstkosten einer Tonne Kohle um durchschnittlich 10 Pfg. im Gefolge! Die Berieselung hat den weiteren Nachteil, daß sie die Arbeitsorte naß und ungemütlich macht und durch die Schwängerung der Wetter mit Wasserdunst die Leistungsfähigkeit der Bergleute herabsetzt. Kein Wunder, daß sie bei der Belegschaft darum wenig beliebt ist.

Schlagwetterexplosionen wie Kohlenstaubexplosionen haben beide die Entwicklung von Kohlensäure im Gefolge. Sie bildet eines der dabei entstehenden Verbrennungsprodukte. Ist Kohlensäure auch nicht giftig, so können doch weder Mensch noch

Pferd in Grubenräumen bestehen, welche infolge des Vorherrschens von Kohlensäure nicht den zum Atmen notwendigen Vorrat an Sauerstoff enthalten. Daher bergen kohlensäureerfüllte Grubenräume eine schwere Gefahr. Die wesentlich aus Kohlensäure bestehende gasförmige Gefolgschaft einer Explosion von Schlagwettern oder Kohlenstaub nennt der Bergmann „Nachschwaden". Er fürchtet sie mit vollem Recht. Aus ihnen lauert ihm Gefahr vor allem in den tiefgelegenen Teilen der Grube, da die Kohlensäure schwerer als Luft ist und sich infolgedessen in den tiefsten Punkten der Schächte, auf der Sohle der Strecken usw. ansammelt.



Abbildung 51. Benetzung des Steinkohlenstaubes.
(Nach einer Aufnahme von H. Börner, Verlag von Craz & Gerlach, Freiberg i. S.)

Eine weitere böse Quelle der Gefahren liegt darin, daß bei der Explosion großer Kohlenstaubmengen leicht die vorhandene Luft nicht ganz zur völligen Verbrennung zu Kohlensäure ausreicht und sich dann daneben auch Kohlenoxyd, ein gefährlich giftiges Gas, bildet. Schon der geringe Gehalt von $^1/_{10}$% in der Luft genügt, um schwere Ohnmachten zu erzeugen. Nur wenig größere Mengen führen schnell den Tod herbei.

Kohlensäure wie Kohlenoxyd bedrängen den Bergmann auch bei der Eindämmung von Grubenbränden. Kennt unser oberschlesischer Steinkohlenbezirk auch keine Grubengasentwicklung und daher keine Schlagwettergefahr: Grubenbrände sind dort an der Tagesordnung. Wir sahen, daß beim oberschlesischen Pfeilerbau der Sicherheit halber Reste der Flöze in den Pfeilern gelassen werden und im Alten Mann verloren gehen. Unter dem Druck der auf ihnen lastenden Massen entzünden sie sich und setzen dann auch leicht die benachbarten Partien der Kohlenflöze in Brand. Zur Bekämpfung von Grubenbränden wird das Brandfeld möglichst dicht abgemauert, dadurch die Sauerstoffzufuhr abgeschnitten und der Brand erstickt. Bei diesen Abdämmungsarbeiten sind die Bergleute stark von Kohlensäure und Kohlenoxyd bedroht.

In allen solchen Fällen bei Brandarbeit unter Tage oder beim Vordringen in Nachschwaden, wie es nach Explosionen zur Rettung der etwa von der Explosion verschont gebliebenen Kameraden oft dringend wünschenswert ist, wird unter Zuhilfenahme von sogenannten Rettungsapparaten vorgegangen. Das Vordringen in sauerstoffarme Wetter macht die gleichzeitige Anwendung elektrischer Traglampen nötig. Hat die Brand- oder Rettungsmannschaft nur kurze Wege zurückzulegen, so ziehen ihre Mitglieder lose Masken über das Gesicht, hinter die ihnen durch einen über den Rücken hängenden nachgeführten Schlauch frische Luft zugepumpt wird. Muß die

Rettungsmannschaft dagegen weite Wege machen und frei beweglich sein, so legt sie Apparate an, die mit allem, was der Mann darin mit sich führt, ihm die Atmung in Schwaden erlauben (Abbildung 52). In Stahlflaschen wird unter hohem Druck befindlicher Sauerstoff mitgenommen, der durch ein Reduzierventil auf normalen Luftdruck herabgesetzt wird und in einen Helm tritt, welcher ähnlich wie derjenige eines Tauchers den Kopf umschließt, oder der Sauerstoff wird durch ein Mundstück angesogen. In letzterem Falle ist die Nase durch eine Klemme verschlossen. Die ausgeatmete Luft streicht über Ätzkali, das ihre Kohlensäure aufnimmt, sie also davon befreit. Der übrigbleibende Stickstoff mischt sich mit dem Sauerstoff der Stahlflaschen zu einem bequem atembaren Gemenge von luftähnlicher Zusammensetzung.

Rettungsapparate können nur Nutzen bringen in der Hand von Leuten, die gründlich mit ihnen Bescheid wissen, nicht nur ihre Einrichtungen genau kennen, sondern auch geübt sind, unter der nicht unbeträchtlichen Last der Apparate zu arbeiten, durch zusammengebrochene Strecken zu kriechen, mit ihnen beschwert noch Menschen zu transportieren und anderes mehr. In voller Würdigung dieser wichtigen Tatsache, deren Vernachlässigung in früherer Zeit öfters Verunglückungen von Rettungsmutigen im Gefolge hatte, sind auf allen Steinkohlenzechen Rettungstruppen aus besonders geeigneten Bergleuten gebildet, die, mit den Rettungsapparaten ausgerüstet, die Verrichtung der verschiedensten Arbeiten in raucherfüllten Übungsräumen üben müssen. Ähnlich wie auf den Wachen der städtischen Feuerwehren sind in besonderen Räumen — Rettungskauen — die Rettungsapparate mit allem Zubehör und Ersatzteilen handlich derart hergerichtet, daß eine voll ausgerüstete Rettungsmannschaft sich innerhalb weniger Minuten nach der Alarmmeldung schon in die Grube hinabbegeben kann. Reserveleute bleiben in der Rettungskaue bereit zum Nachrücken für den Fall, daß ein Telephonruf aus der Grube sie herabfordern sollte. Besondere Sauerstoffapparate stehen in der Rettungskaue zur Wiederbelebung Erstickter und durch elektrischen Strom Betäubter zur Verfügung. Neben den Rettungskauen der einzelnen Zechen werden neuerdings in einzelnen Bezirken noch Rettungszentralen größeren Umfanges vorgesehen. Durch sie soll für einheitliche Durchbildung der Rettungstruppen gesorgt und insbesondere bei Massenunglücken wirksame Hilfe gebracht werden können. Automobile stehen bereit, um Mannschaften und Apparate mit möglichster Beschleunigung zu den gefährdeten Zechen zu bringen. —



Abbildung 52. Rettungsübung im Bergwerk mit Atmungsapparaten.

Wasser bildet in der Regel für Steinkohlenbergwerke dann keine Gefahr mehr, wenn eine Abdichtung des Schachtes gegen wasserfüh-

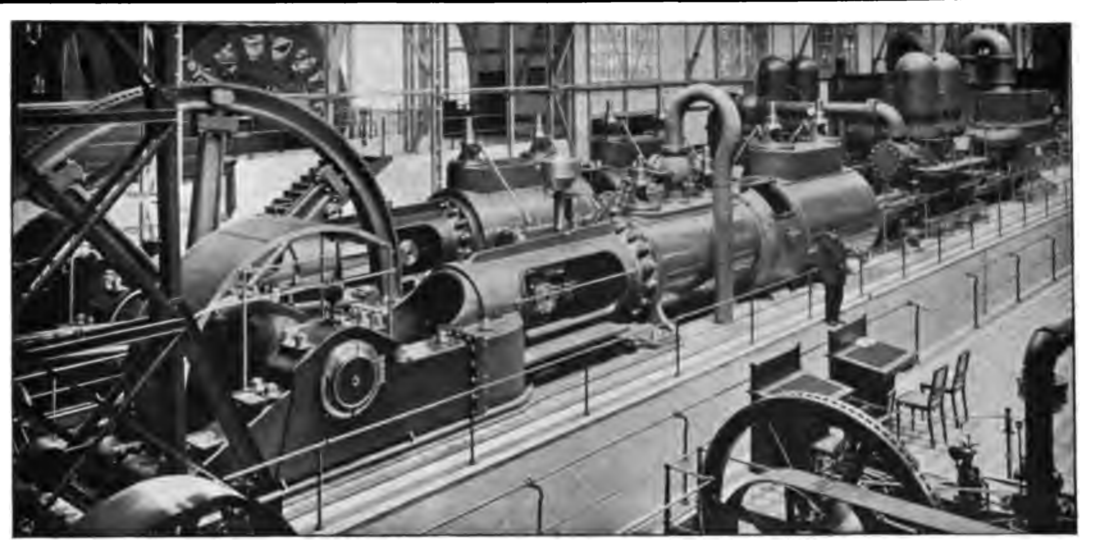


Abbildung 53. Neuzeitliche große Dampfwasserhaltungsmaschine. Zeche Gneisenau bei Dortmund.

rende Schichten einmal glücklich erreicht worden ist. Eine Ausnahme macht Oberschlesien, wo die lockeren Massen der Kurzawka in den Vertiefungen auf der Oberfläche der Steinkohlenformation mit Wasser erfüllt sind. Der oberschlesische Steinkohlenbergbau darf daher nur mit großer Vorsicht nach der oberen Grenzfläche der Steinkohlenformation hin betrieben werden. Trotz alledem erfolgen doch gelegentlich Durchbrüche der Kurzawka in die Grubenräume. Bedeutende Massen dieses gefährlichen Materials ergießen sich dann gewöhnlich mit ungeheurer Vehemenz in die Grube und wirken vor allem dadurch so heftig, daß sie erratische Blöcke mit sich führen, die alles zerschmettern, was sich ihnen entgegenstellt.

Abgesehen von dieser Ausnahme in Oberschlesien hat der regelmäßige Betrieb von Steinkohlenbergwerken im allgemeinen unter Wasser nicht schwer zu leiden. Immerhin sammelt sich aus den vielen kleinen wasserführenden Klüften, welche die Gesteinsschichten in einem ausgedehnten Steinkohlenbergwerk durchziehen, eine Wassermenge von einigen Kubikmetern in der Minute an. Vielfach werden die Zuflüsse der oberen Sohlen gesammelt und in Rohrleitungen als Kraftwasser auf Wassermotore (gewöhnlich Peltonräder) in den tieferen Sohlen geleitet, um mit der durch das Gefälle in dem Wasser erzeugten Kraft diese in Bewegung zu setzen. Dadurch liefern sie eine willkommene Antriebskraft für kleine unterirdische Fördermaschinen, kleine Ventilatoren der Sonderbewetterung u. a. m. an solchen Orten, nach denen auf andere Weise oft nur schwer Betriebskraft hinzuleiten wäre. Die endgültige Hebung von Wasser aus Steinkohlenbergwerken erfolgt bei deren heutigen großen Tiefen nahezu ausschließlich durch Pumpen, deren Antriebsmaschinen unter Tage stehen. Diese Wasserhaltungsmaschinen werden in der Regel am zweckmäßigsten in der nächsten Umgebung der Schächte aufgestellt. Ihr Betrieb durch Dampf stellt sich im allgemeinen immer noch billiger als durch Elektrizität. Zum Antrieb ständig arbeitender Maschinen wird daher heute noch Dampfkraft vorgezogen.

Die Dampfmaschine bewegt Plungerkolben, welche einerseits in der zum Wassersammelraum, dem „Sumpf", führenden Saugleitung einen luftleeren Raum schaffen und anderseits das angesaugte Wasser in den Steigrohren durch den Schacht zutage drücken. Neben den langsamgehenden Wasserhaltungsmaschinen (Abbildung 53), welche

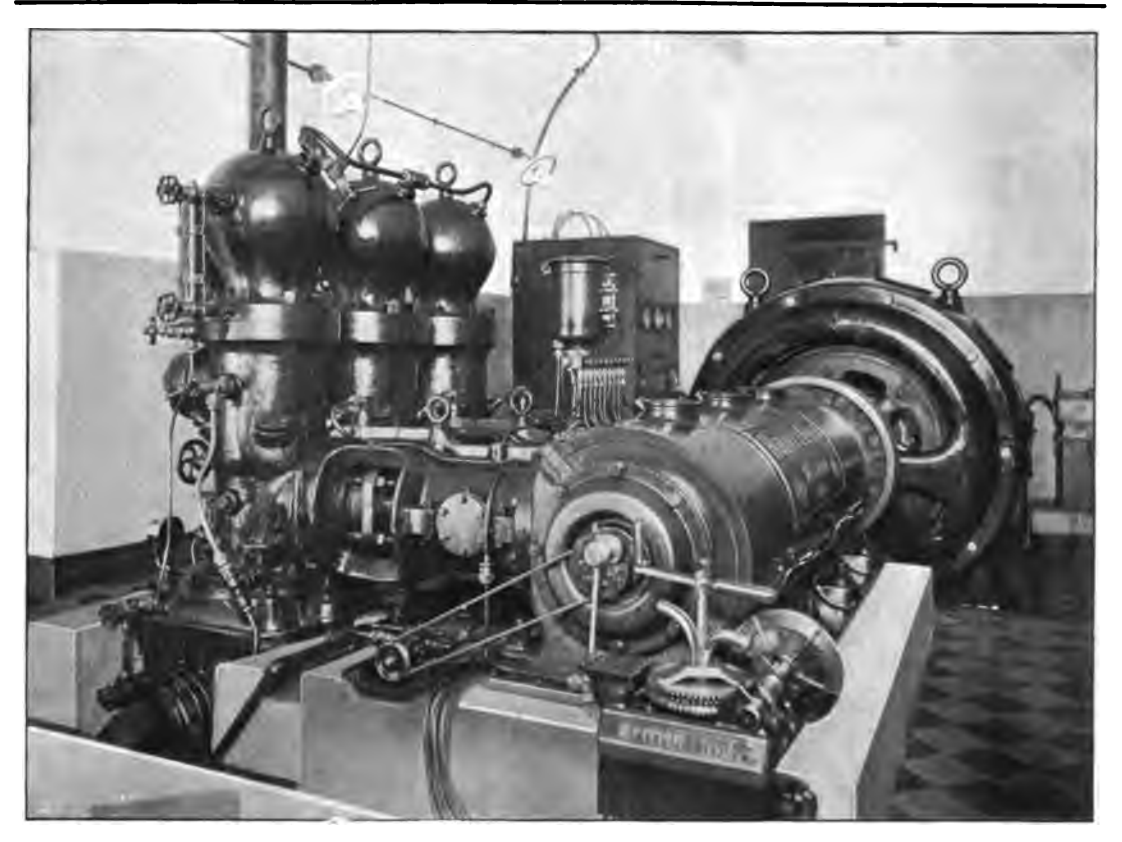


Abbildung 54. Elektrisch angetriebene Kolbenpumpe. Steinkohlenzeche Zollverein, Caternberg i. Rhld.

mit jedem ihrer wenigen Hübe relativ große Wassermengen bewegen, sind neuerdings in steigendem Maße schnellaufende Wasserhaltungsmaschinen zur Einführung gelangt. Diese liefern bei jedem Hub zwar nur geringe Wassermengen, bringen es infolge der großen Zahl der Hübe aber auch auf hohe Leistungen und gestatten die Verwendung schnellaufender und daher rationeller arbeitender Antriebsmaschinen. Bei dem raschen Gang dieser neuen Arten von Wasserhaltungsmaschinen (Expreßpumpen) (Abbildung 54), lassen sie sich auch von Elektromotoren gut betreiben.

Wenn solche indes für Wasserhaltungsmaschinen verwandt werden, so werden gewöhnlich keine Plungerpumpen, sondern Zentrifugal- oder Schleuderpumpen (Abbildung 55) verwandt. Diese arbeiten nach dem gleichen Prinzip wie die oben besprochenen Zentrifugalventilatoren: durch Abschleudern des Wassers von der Peripherie eines Schaufelrades wird an dessen Achse Luftleere und daher Saugwirkung erzielt. Das abgeschleuderte Wasser wird von den Kammern des feststehenden Leitrades aufgenommen und aus deren Krümmungen der Steigleitung zugepreßt. Wegen ihres bei gleicher Leistung sehr viel geringeren äußeren Umfanges sind Zentrifugalpumpen billiger in der Anschaffung als Kolbenpumpen und brauchen aus dem gleichen Grunde sehr viel weniger Raum zu ihrer Aufstellung. Deswegen sind sie vor allem als Reservepumpen sehr geschätzt, bei deren in der Regel kurzer Betriebsdauer es nicht so darauf ankommt, daß ihr Betrieb sich etwas teurer stellt als bei Dampfantrieb.

Neben Dampf und Elektrizität wird auch mit Vorteil Wasser, dem in besonderen Maschinen über Tage durch starke Zusammenpressung ein hohes Druckvermögen ge-

geben wird, zum Antrieb unterirdischer Wasserhaltungsmaschinen benutzt. Das Druckwasser arbeitet mit einem Druck von 200—300 Atmosphären unter Umständen sogar billiger als irgendeine andere Antriebsart. Die damit betriebenen hydraulischen Wasserhaltungsmaschinen haben aber vor allem den Vorzug, daß sie auch dann in Betrieb gehalten werden können, wenn die Grube ersaufen sollte und der Pumpenraum unter Wasser gerät. Sie arbeiten dann unter Wasser ruhig weiter und pumpen sich selbst frei, während eine Dampfwasserhaltung in solchem Falle versagen und eine elektrisch betriebene gar den Dienst schon verweigern würde, wenn die Motoren nur feucht werden.

HAND- UND MASCHINENARBEIT BEI DER STEINKOHLENGEWINNUNG. Haben wir bisher betrachtet, wie die Grubenräume angelegt und wie sie nach Möglichkeit erhalten und sicher gemacht werden, so wollen wir nunmehr verfolgen, wie die Gesteine und die Kohle bei den bergmännischen Arbeiten gelöst — „hereingewonnen" — und dann weiter behandelt werden.

Um zu den Steinkohlenflözen zu gelangen, müssen sowohl in den Schächten wie nach deren Fertigstellung auf den einzelnen Sohlen in den Querschlägen Gesteinsschichten der verschiedensten Art durchbrochen werden. In der Steinkohlenformation handelt es sich dabei in der Hauptsache um Tonschiefer, sogenannten Kohlenschiefer, Sandsteine und Konglomerate, also Gesteine von in der Regel solch festem Zusammenhange, daß nur ausnahmsweise geringe Mengen lediglich mit der Keilhaue hereingerissen werden können. In der Hauptsache müssen sie vielmehr durch Lossprengen mit Schießarbeit bewältigt werden. Bei der Herstellung der Sprengbohr-

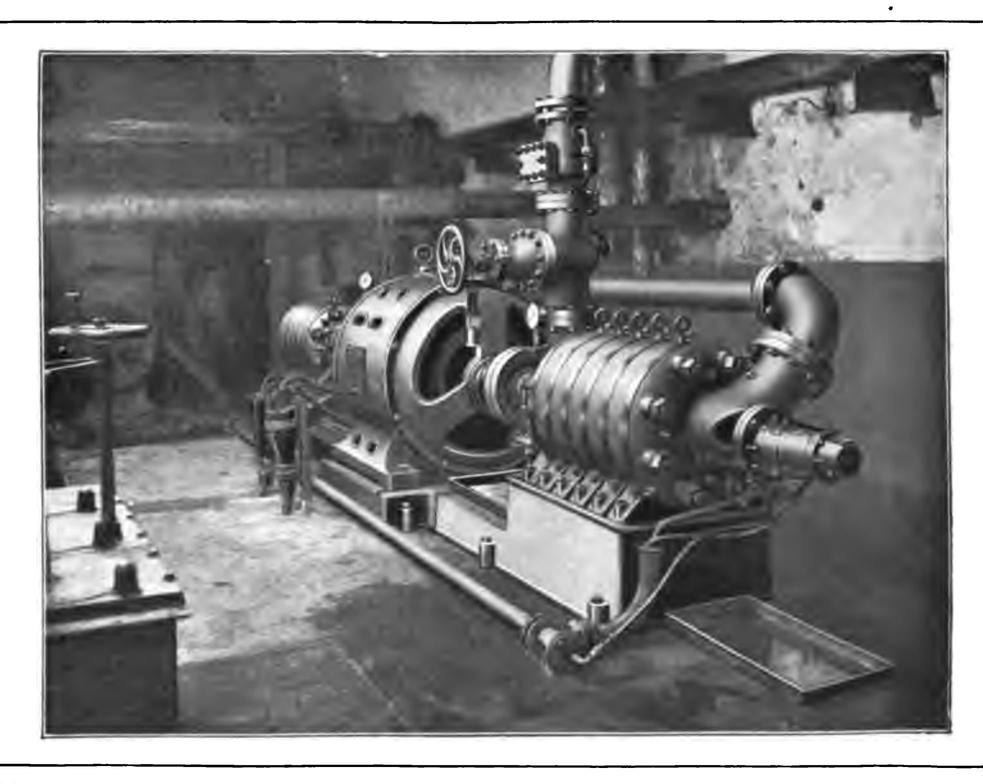


Abbildung 55. Hochdruckzentrifugalpumpe für Bergwerkswasserhaltung.

löcher haben Bohrmaschinen die Handarbeit stark in den Hintergrund gedrängt. Neben Bohrmaschinen, welche an eisernen Säulen drehbar angeschraubt arbeiten (Abbildung 56), kommen mehr und mehr Bohrhämmer (Abbildung 57) auf. Bei beiden steht der Antrieb durch Preßluft im Vordergrund. Er hat für Steinkohlengruben den Vorteil, daß die nach Vollendung der Bohrarbeit in die Baue austretende Luft ihnen Sauerstoff zuführt, also die Bewetterung unterstützt. Bei den elektrisch angetriebenen Bohrmaschinen sitzt der Motor entweder unmittelbar an der Maschine, oder er steht in einem besonderen Kasten auf der Sohle neben der Spannsäule und überträgt die Kraft mit einer biegsamen Welle auf den Bohrmechanismus. Bohrhämmer werden neuerdings auch auf selbsttätigen Vorschubeinrichtungen montiert (Abbild. 57).

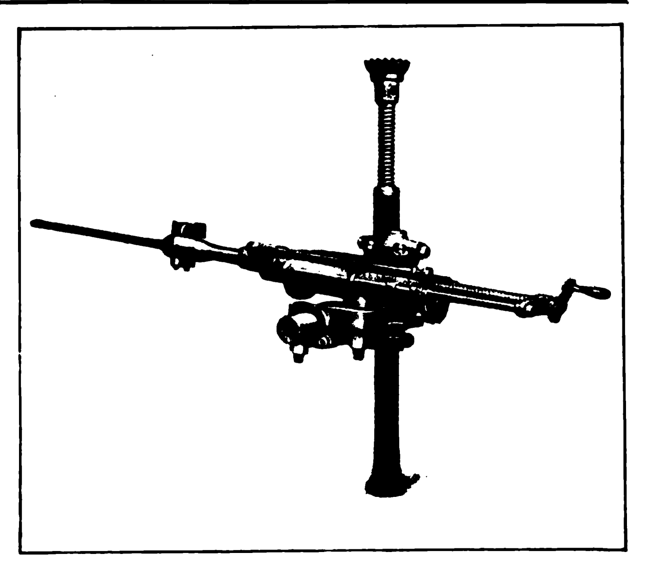


Abbildung 56. Preßluftstoßbohrmaschine.

In festem Gestein wird stoßend gebohrt: ein Meißel stößt unter kurzem Zurückziehen und einer jedem Stoß folgenden geringen Drehung andauernd in gleicher Richtung in das Gestein hinein. Hierbei wird es zu Staub zertrümmert und dieses Bohrmehl entweder durch Auskratzen oder durch Wasserspülung aus dem Bohrloch entfernt. In weniger festem Material, „mildem" Schiefer und in der Steinkohle selbst wird drehend gebohrt: ein Spiralbohrer (Schlangenbohrer) wird durch Drehung in das Gestein hineingebohrt. Dieses in der Kohle fast ausschließlich angewandte Drehbohren muß in den Abbauen ganz überwiegend von Menschenhand erfolgen, weil es in den meisten Fällen unökonomisch ist, derart weitverzweigte Kraftleitungen anzulegen, wie es eine Versorgung sämtlicher Abbauorte verlangen würde. Bei kurzen Bohrlöchern wird durch die am Ende des Bohrers befindliche Öse ein Holzknebel gesteckt und dieser



Abbildung 57. Preßluftbohrhämmer auf Führungsschlitten.

mit beiden Händen gedreht. Bei längeren Drehbohrlöchern wird in der Regel ein eisernes Gestell (Abbildung 58) zu Hilfe genommen, das, zwischen Firste und Sohle festgeklemmt, den Drehbohrer trägt und seine Bewegung durch eine Kurbel oder eine Bohrknarre (Ratsche) ermöglicht. Die modernen Drehbohrmaschinen dieser Art haben vor den älteren Typen den Vorzug, daß sie vermöge der Besonderheiten ihrer Konstruktion das Maß des bei jeder Drehung erfolgenden Vorschubs der jeweilig sich äußernden Gesteinshärte anpassen und dadurch einen gleichmäßig hohen Kraftaufwand vom Bergmanne verlangen.

Bei Gesteinsarbeiten an Punkten der Grube, wo weder Schlagwetter noch Kohlenstaub vorkommen können, dürfen die verschiedensten Sprengstoffe angewandt werden: Schwarzpulver und schwarzpulverähnliche sowie Dynamite aller möglichen Art. Hier ist für die Auswahl nur die Leistungsfähigkeit in dem jeweilig zu bewältigenden Gestein ausschlaggebend. Wo aber das Auftreten von Schlagwetter oder von gefährlichem Kohlenstaub befürchtet werden muß, darf Schießarbeit überhaupt nicht ausgeübt werden. Wenn diese Gefahr in manchen Fällen auch als fernliegend angesehen werden muß, so ist sie bei den Arbeiten in der Kohle oder in deren Nähe doch nie ganz ausgeschlossen. Deshalb werden hierbei — wenn eben überhaupt geschossen werden darf — sogenannte Sicherheitssprengstoffe verwandt. Diese bestehen entweder aus Sprengstoffen, deren Explosionstemperatur zur Entzündung von Schlagwettern und Kohlenstaub nicht ausreicht, oder aber es sind stärkeren Sprengstoffen weniger leicht entzündliche Stoffe oder vergasbare Salze beigemischt, die einen solchen Teil der bei der Explosion entstehenden Hitze binden, daß die Temperatur nicht auf einen gefährlichen Grad steigen kann. Zu den erst gekennzeichneten Sicherheitssprengstoffen gehören die Ammonsalpetersprengstoffe, zu der letztgenannten Art die Karbonite und wettersicheren Gelatinedynamite. Ebensowenig wie die Davysche Lampe gewähren diese Spezialsprengstoffe aber eine vollkommene Sicherheit, immerhin erhöhen sie gleich diesem für den Steinkohlenbergmann so hochwichtigen Geleucht die Sicherheit zweifellos ganz wesentlich. Für die Prüfung von Sprengstoffen und ihr Verhalten gegen Schlagwetter und Kohlenstaub bestehen in den verschiedenen Bergbaurevieren sogenannte Versuchsstrecken, wo unter Leitung höherer Bergbeamter unermüdlich an dieser wichtigen Frage gearbeitet wird.

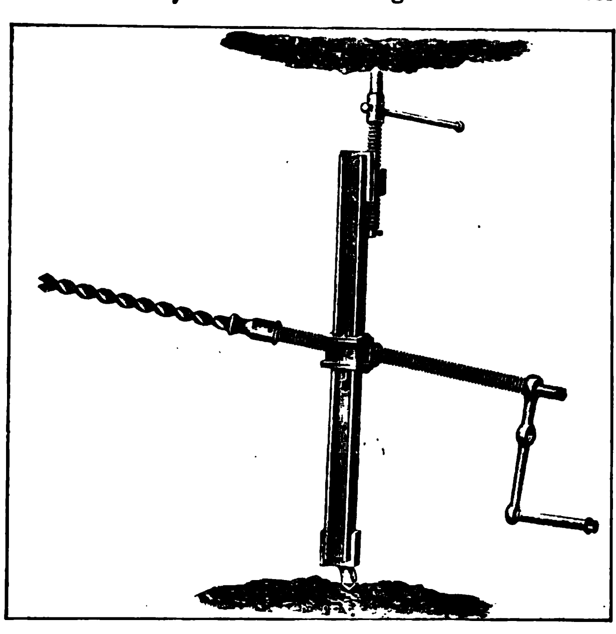


Abbildung 58. Handdrehbohrmaschine.

Die Einfügung der Sprengstoffe in die Bohrlöcher, das Besetzen, liegt besonderen Schießmeistern ob. Sie feuern auch die Schüsse ab — heute in der Regel mittels elektrischer Zündung. —

Stückkohle ist weit wertvoller als Feinkohle. Daher muß die Gewinnung so eingerichtet werden, daß möglichst viel Stückkohle dabei herauskommt. Sie geht darum

darauf aus, große Klötze von Kohle auf einmal zu lösen. Um dies zu können, wird eine weichere Lage von Kohle oder ein Zwischenmittel von mildem Schieferton, falls ein solches vorhanden ist, ein Stück weit herausgehackt und zu einem möglichst tief in das Flöz hineinreichenden Schlitz erweitert. Ein Flözstreifen, der sich zu solchem Aushacken eignet, wird „Schram" genannt und die Arbeit selbst das Schrämen. Von Hand wird sie mit einer leichten Keilhaue ausgeführt, die in leichtem Schwung um das Handgelenk eines mit dem Ellbogen aufgestützten Armes bewegt wird. Der Bergmann hockt oder liegt in der Regel dabei auf dem Liegenden des Flözes.

Gelingt es, in ein Flöz an seinem Liegenden einen tiefen Schram hineinzuarbeiten, so läßt sich die darüberhangende Kohle in groben Klötzen hereingewinnen. Sie wird entweder durch eiserne Keile, (auch durch hydraulischen Druck oder durch Sprengschüsse, die dicht unter dem Hangenden angesetzt werden, von dem Hangenden abgedrückt. Bei einem guten Schram läßt sich die Schießarbeit auf ein geringes Maß einschränken und damit eine der wesentlichsten Gefahrenquellen im Steinkohlenbergbau erheblich eindämmen. Die ganze zum Abdrücken der Kohle angewandte Kraft macht sich nach dem Schram hin Luft. Das Hangende bleibt unverletzt, gefährdet deshalb den Bergmann wenig mit Steinfall und macht nur geringen Ausbau des Abbaues nötig. Jegliche Schrämarbeit erhöht daher die Sicherheit wesentlich und gestattet obendrein Ersparnisse.



Abbildung 59. Preßluftbohrhammer als Schrämwerkzeug benutzt.

Bei dieser großen Wichtigkeit der Schrämarbeit werden die Bestrebungen, sie Maschinen zu übertragen, von den Steinkohlenbergleuten eifrig verfolgt. Hier und da werden statt der Keilhauen Preßlufthämmer verwandt, die mit einem spitzen Meißel die Kohlen im Schram absplittern (Abbildung 59). Die übrigen bisher im Steinkohlenbergbau erprobten Schrämmaschinen arbeiten stoßend oder fräsend. Die erstere Art steht der stoßenden Bohrmaschine, die wir soeben kennen gelernt haben, nahe. Schafft man für solche Bohrmaschinen die Möglichkeit, sie im Halbkreis langsam drehen und dabei gleichzeitig verschieben zu können, so läßt sich damit ein Schram in ein Flöz hineinarbeiten. Die zuerst von Eisenbeis um eine Säule schwenkbar gemachte Bohrmaschine (Abbildung 60) scheint in unseren deutschen Verhältnissen allen übrigen Systemen überlegen. Bei regelmäßigerer Lagerung, als sie bei uns Regel ist, stehen dagegen, insbesondere in Amerika, fräsend arbeitende Schrämmaschinen stark in Benutzung.

KOHLENFÖRDERUNG. Die im Abbau gewonnene Kohle wird, soweit es nötig ist, in Stücke von solcher Größe geschlagen, daß der Schlepper die größten noch

bequem heben und in den Förderwagen werfen kann. Das Haufwerk der kleineren Kohlenstücke wird mit Hilfe hölzerner oder eiserner Mulden oder mit kurzstieligen Schaufeln in die Förderwagen geladen (Abbildung 61). Ein Förderwagen faßt in Deutschland rund 1/2 t Kohle. Um die teure Handarbeit nach Möglichkeit auszuschalten, ist man neuerdings darauf aus, die Abbaue so einzurichten, daß geradlinige Förderrinnen an einer größeren Anzahl von in gerader Reihe hintereinanderliegenden Arbeitspunkten vorbei gelegt werden, die Kohle in diese geschaufelt wird (Abbildung 62), darin abwärtsrutscht und an ihrem unteren Ende direkt in den darunterstehenden Grubenwagen fällt. Wo das Gefälle zum selbsttätigen Rutschen der Kohle nicht ausreicht, werden die Rutschen derart aufgehangen oder verlagert, daß sie durch einen Motor in eine hin und her schwingende Bewegung versetzt werden können. In ähnlicher Weise werden feststehende Rinnen, in denen eine die Kohle nach unten kratzende Kette entlang läuft, sowie Förderbänder (Gurtförderer), die auf Rollen laufen, zum gleichen Zwecke mit Vorteil benutzt.



Abbildung 60. Schrämmaschine.

Alle diese mechanischen Abbaufördereinrichtungen bedeuten einen großen Fortschritt. Sie verbilligen den Abbau flachliegender Flöze so wesentlich, daß man sagen darf: durch ihre Anwendung werden Flöze bauwürdig, deren Verhau bei einer lediglich von Hand erfolgenden Einfüllarbeit unrentabel sein würde. Die Antriebsmotore dieser Einrichtungen werden vorwiegend mit Preßluft gespeist.



Abbildung 61. Kohleneinladen im Abbaupfeiler.

(Nach einer Aufnahme von H. Börner, Verlag von Craz & Gerlach, Freiberg i. S.)

Neben den Förderrutschen wird aber für manche Flözverhältnisse, besonders bei steiler Lagerung, der Betrieb auf Bremsbergen und in Bremsschächten erhalten bleiben. Die Bremsberge bilden sozusagen das Rückgrat für die meisten heutigen Abbauarten. In den Bremsberg münden alle die mehr oder weniger einander parallelen Abbau-



Abbildung 62. Schüttelrutsche, in einem mit eisernen Stempeln verbauten Steinkohlenabbau.

förderstrecken, die entlang den Abbaustreifen bis zu den Arbeitsorten hinführen. Von deren Enden aus werden die kohlenbeladenen Förderwagen auf eine der beiden Schienenbahnen des Bremsberges geschoben (Abbildung 18), so zwar, daß durch das Gewicht des vollen Wagens beim Hinabbremsen der leere Wagen hochgezogen wird, oder aber der volle Wagen wird auf ein Gestell aufgeschoben, das hierdurch schwerer als ein es ausbalancierendes Gegengewicht wird und abwärtsrutscht, während das Gegengewicht seinerseits schwer genug ist, um gleich danach das Gestell mit einem leeren Wagen wieder hochzubringen. Die Konstruktion ist in letzterem Falle derart getroffen, daß das Gegengewicht unter dem Fördergestell auf einer besonderen schmalen Schienenbahn hindurchgleiten kann. Bei Bremsschächten (Abbildung 19) ist von größter Bedeutung, daß die Verschlußtür nur an derjenigen Zugangsstelle geöffnet werden kann, wo das Fördergestell gerade steht, denn immer wieder passieren trotz der schärfsten Vorschriften Unglücke durch Stürze in die Bremsschächte oder Abquetschen von Körperteilen durch das unvermutete Vorbeisausen der Fördergestelle.

Am Fuße der Bremsberge oder Bremsschächte werden die einzelnen Kohlenwagen gesammelt, zu Zügen zusammengestellt und von Grubenpferden zu mechanischen Streckenförderungen hingebracht. Als Grubenpferde können nur Zugpferde schwerster Art gebraucht werden (Abbildung 63). Sie bleiben meist viele Jahre hindurch in der Grube und fühlen sich hierbei ausgezeichnet wohl. Wird doch auf ihre Pflege auch die denkbar größte Sorgfalt verwandt, so daß ihr Dasein in der Grube unter durchaus annehm-



Abbildung 63. Pferdeförderung im Steinkohlenbergwerk.

baren Bedingungen verläuft. Die Grubenpferde wissen nichts von den mannigfachen Witterungsunbilden, denen ihre Vettern über Tage ausgesetzt sind. Ihr Dienst dauert nur knapp ein Drittel des Tages, dann harrt ihrer ein luftiger, geräumiger, gleichmäßig warmer Stall und reichliches Futter. Und selbst ihre Ruhe ist eine gründlichere als über Tage: fehlen doch die quälenden Fliegen und Stechmücken hier in der Tiefe durchaus. Das jammervoll abgezehrte Grubenpferd, wie es uns aus früherer trauriger Zeit Meunier mit seiner wunderbaren Kunst in Bronze in so ergreifender Gestalt überliefert hat, ist dem Bergbau der Jetztzeit fremd: gutgepflegte und wohlgenährte Grubenpferde sind allein in unseren modernen Betrieben brauchbar. Ihr Wohlbefinden liegt so sehr im Interesse der Zechen, daß schon deswegen allerbestens dafür gesorgt wird.

Die mechanischen Förderungen mit Seil (Abbildung 20) oder Kette ohne Ende (in horizontalen oder auch schwach geneigten Strecken) sind im Steinkohlenbergbau von gleicher Art wie beim Braunkohlenbergbau, höchstens treffen wir hier beim Steinkohlenbergbau wegen der sehr viel höheren Zahl, in der sie in Anwendung stehen, eine größere Mannigfaltigkeit der Konstruktionseinzelheiten, insbesondere der Art und Weise, wie die Grubenwagen am Seil oder an der Kette befestigt („angeschlagen") werden.



Abbildung 64. Füllort am Förderschacht.
(Nach einer Aufnahme von M. Steckel, Verlag von R. Giebler, Königshütte, O.-S.)

Bei Lokomotivbetrieb auf den Fördersohlen kommt Elektrizität und Benzin als Antriebskraft nur in denjenigen Grubenteilen zur Anwendung, die von den frisch einziehenden Wettern durchstrichen werden, wo also jede Schlagwetterbildung unmöglich ist. In den entlegeneren Revieren der Gruben kommen nur Lokomotiven mit Preßluftbetrieb in Frage. Hier steht aber die Förderung mit Seil ohne Ende durchaus im Vordergrunde.

Die Kosten dieser Förderarten sind mit etwa 15 Pf. pro km und Tonne Nutzleistung bei der Pferdeförderung am höchsten und mit etwas mehr oder weniger als 2 Pf. bei elektrischen Oberleitungslokomotiven und Seilförderung in wagerechten geraden Strecken am geringsten.

Durch die verschiedenen Beförderungsmittel gelangen die beladenen Grubenwagen zum Schacht. Die Ausweitungen, die an den Schächten auf jeder Sohle bestehen müssen, werden Füllörter (Abbildung 64) genannt, weil von diesen Punkten aus früher die Schachtfördergefäße durch Auskippen der Grubenwagen gefüllt wurden. Heute wandert die Kohle in den Grubenwagen, in die sie in den Abbauen eingefüllt worden ist, bis zu Tage. Während die vollen Wagen hochgezogen werden, gleitet die

gleiche Anzahl leerer Grubenwagen in die Tiefe. Diese fortwährende Ergänzung des Wagenparks ist von der größten Wichtigkeit: wenn es irgendwo an Wagen fehlt, sind die Bergleute in dem betroffenen Revier nicht imstande, ihre volle Leistung zu schaffen und ihr „volles Lohn" zu verdienen. Die Verteilung der im Schacht herabkommenden leeren Wagen muß aufs beste organisiert und von besonders zuverlässigen Förderaufsehern peinlich überwacht werden.

Bei der Förderung in den Schächten stehen die Grubenwagen auf schweren eisernen Fördergestellen (Abbildung 65). Auf großen Steinkohlenzechen haben diese in der Regel mehrere Etagen übereinander, auf deren jeder 1—2 Wagen Platz haben, so daß mit einem Hochziehen (einem „Zuge") gleich 4—10 Wagen oder 2—5 t Kohlen zutage gehoben werden. An den Füllorten muß der Förderkorb so angehalten werden, daß die Plattform einer Etage mit der Oberkante des Füllortes möglichst genau in einer Höhe steht. Nur dann können die Grubenwagen leicht und sicher aufgeschoben und abgezogen werden. Von der Fördermaschine aus läßt sich dies nur schwer ganz genau regeln. Deswegen muß am Füllort selbst nachgeholfen werden. Zu diesem Zwecke sind bewegliche Stützen (Caps, n. d. Engl.) und andere Hilfseinrichtungen im Gebrauch, welche die Bedienung der Fördergestelle erleichtern (Abbildung 65).

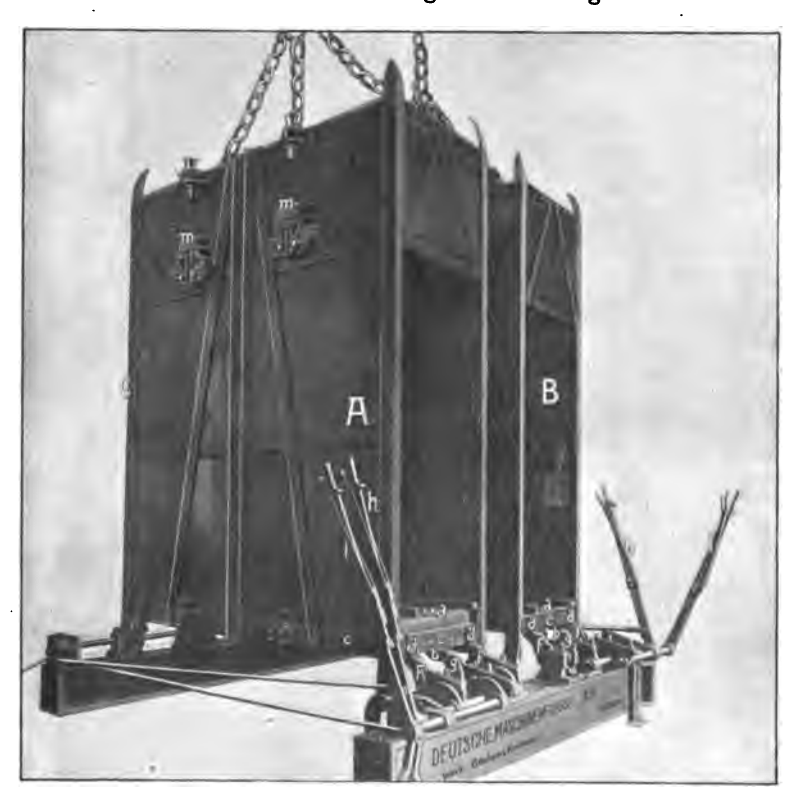


Abbildung 65. Förderkörbe, auf Caps stehend.

Durch die Wucht, mit der von der einen Seite des Schachtes die beladenen Wagen auf das Fördergestell aufgeschoben werden, rollen auf der entgegengesetzten Seite die leeren Wagen davon ab. Stets befinden sich auf der gleichen Schachtseite lediglich volle und auf der anderen nur leere Wagen. Das nämliche ist an der Mündung des Schachtes, nur im umgekehrten Sinne wie an den Füllorten, der Fall.

Die Fördergestelle werden in Erinnerung an die Form der Schachtfördermittel früherer Zeiten vielfach noch Förderkörbe, in einigen Gegenden auch Förderschalen genannt. In moderner, für eine leistungsfähige Steinkohlenzeche bestimmter Gestalt sind es schwere Eisengerüste, die an den Längsseiten mit durchlochtem Stahlblech bekleidet sind. Die Schmalseiten, auf denen sie gewöhnlich zugänglich sind, werden durch aufklappbare Riegel verschlossen, damit die Förderwagen nicht herabrollen können. Auf diesen Fördergestellen wird auch die

Belegschaft der Steinkohlenzechen in das Bergwerk hinabgelassen. Bei der Mannschaftsfahrung werden besondere Türen vor die sonst nur mit Riegeln verschlossenen Seiten eingehängt.

Damit die Fördergestelle im Schacht nicht hin und her schleudern und an die Schachtwand anstoßen, gleiten sie an besonderen Führungen entlang. Diese bestehen einmal aus sehr sauber bearbeiteten Balken von vorzüglichstem Holz, das glatt bleiben muß und nicht splittern darf, andererseits werden solche Leitungen auch aus Stahlschienen hergestellt. U-eisenförmige Ansätze an den Förderkorbseiten legen sich um drei Seiten der hölzernen Leitbäume herum, oder besonders geformte Ansätze umfassen lose den Kopf der Schienenleitungen. Eine dritte Art der Führung besteht in vier Drahtseilen, welche senkrecht im Schacht herunterhängen und, durch Gewichte straffgehalten, lose durch Ösen an den vier Ecken der Fördergestelle hindurchführen. Drahtseile sogenannter patentverschlossener Konstruktion (Abbildung 66 unten in der Mitte) eignen sich wegen ihrer glatten Oberfläche vornehmlich für diesen Zweck. Bei dieser Seilführung lassen sich Fangvorrichtungen kaum verwenden, bei den eisernen Leitschienen auch nur mit wenig Aussicht auf Erfolg. Lediglich bei hölzernen Leitbäumen kann man einigen Vorteil von Fangvorrichtungen erhoffen. Mögen auch die meisten Konstruktionen im Falle eines Seilbruches wirklich funktionieren — ob sie die dann etwa auf dem Förderkorbe befindlichen Leute vor Schaden bewahren, ist jedenfalls sehr zweifelhaft. Zum mindesten bleiben die Betroffenen einem starken Stoß durch den plötzlichen Stillstand des vorher in starker Bewegung befindlichen Fördergestelles ausgesetzt, ein Stoß, der in vielen Fällen hinreichen dürfte, die Besatzung so zuzurichten, daß kaum einer mit dem Leben davonkommt. Mögen auch die neueren Fangvorrichtungen noch so sehr danach streben, diesen Stoß dadurch zu mildern, daß sie ganz allmählich, bremsend, in Wirkung treten, so steht doch sehr dahin, ob sie im Ernstfalle tatsächlich die auf sie gesetzten Erwartungen erfüllen werden. Wenn derartige, zurzeit als die besten erscheinenden Fangvorrichtungen heutigestags angebracht werden, so geschieht es nur, um nichts zu versäumen, was möglicherweise zur Sicherheit der Belegschaft dienen könnte. Ein guter Bergtechniker wird sich aber nicht auf sie verlassen; für ihn wird immer noch der alte Bergmannsspruch gelten: Ein gutes Seil ist die beste Fangvorrichtung.

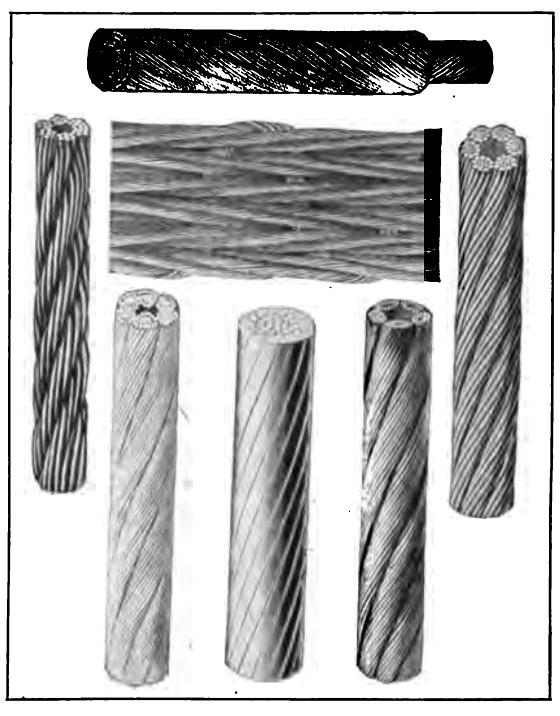


Abbildung 66. Förderseile.

Von der Güte des Förderseils (Abbildung 66) hängt in erster Linie die Sicherheit des Förderbetriebs ab. Bandseile (Abbildung 66 in der Mitte), wie sie in Belgien und Frankreich besonders in Brauch sind, kennt der deutsche Bergbau nur in untergeordnetem Maße. Ihrer Unzuverlässigkeit sind viele schwere Unglücke — zuletzt ein solches, dem vor wenigen Jahren im Saarrevier 16 Knappen zum Opfer fielen — zu-

zuschreiben. Überwiegend stehen im deutschen Bergbau Rundseile aus bestem Qualitätsgußstahl in Anwendung. In jedem Seil sind eine Anzahl von sogenannten Litzen zusammengewunden, die ihrerseits wieder aus zahlreichen Einzeldrähten bestehen. Bei den großen Teufen, in die der Bergbau jetzt hinabdringt, spielt das Eigengewicht des Seiles in zunehmendem Maße eine Rolle. Nach seiner Verminderung bei gleichbleibender Leistungsfähigkeit strebt daher die Technik. In dem Maße, wie Wicklung und Konstruktion dem Förderseil eine möglichst große Oberfläche geben, verteilt sich jegliche äußere chemische wie mechanische Beanspruchung auf die Einzeldrähte. Zu geringerem Eigengewicht und relativ großer Oberfläche führen die unübertroffenen modernen Konstruktionen der dreikantlitzigen und der flachlitzigen Seile (Abbildung 66, unten rechts und links). — Mit besonderer Sorgfalt müssen naturgemäß die Teile konstruiert und ausgeführt sein, welche Fördergestell und Seil verbinden.

Neben Fördermaschinen, bei denen, wie wir schon im Kapitel über Braunkohlenbergbau sahen, von einer durch die Kraft der Maschinen gedrehten Trommel (Abbildung 67) das eine Förderseil aufgewunden und gleichzeitig das andere von der gleichen Trommel abgewickelt wird, finden wir im Steinkohlenbergbau ein anderes System besonders in Deutschland zahlreich vertreten: Fördermaschinen, die an Stelle der Seiltrommel eine Treibscheibe (Abbildungen 68 u. 69) haben. Um diese schmale Treibscheibe — von gewöhnlich bedeutendem Durchmesser — legt sich das Förderseil. Seine beiden Enden führen über die hoch oben im Fördergerüst (Abbildung 76)

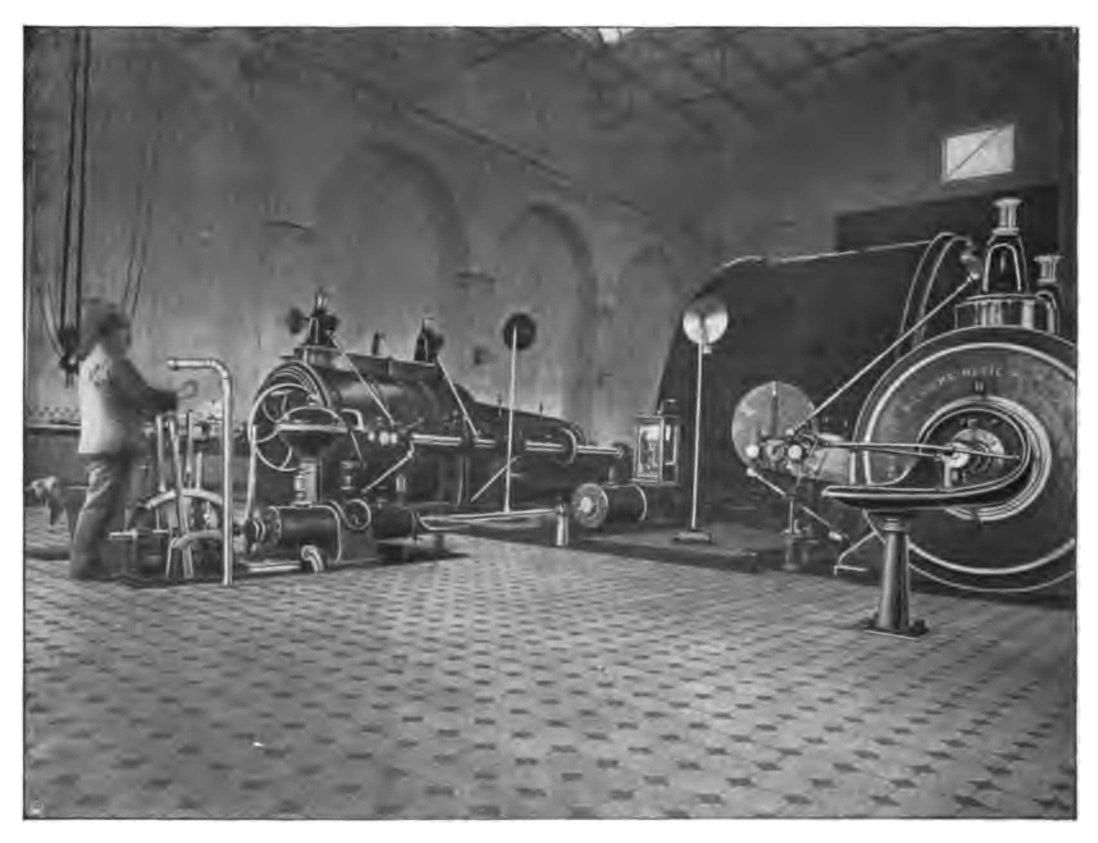


Abbildung 67. Zwillingsfördermaschine mit Dampfantrieb und Seiltrommel.

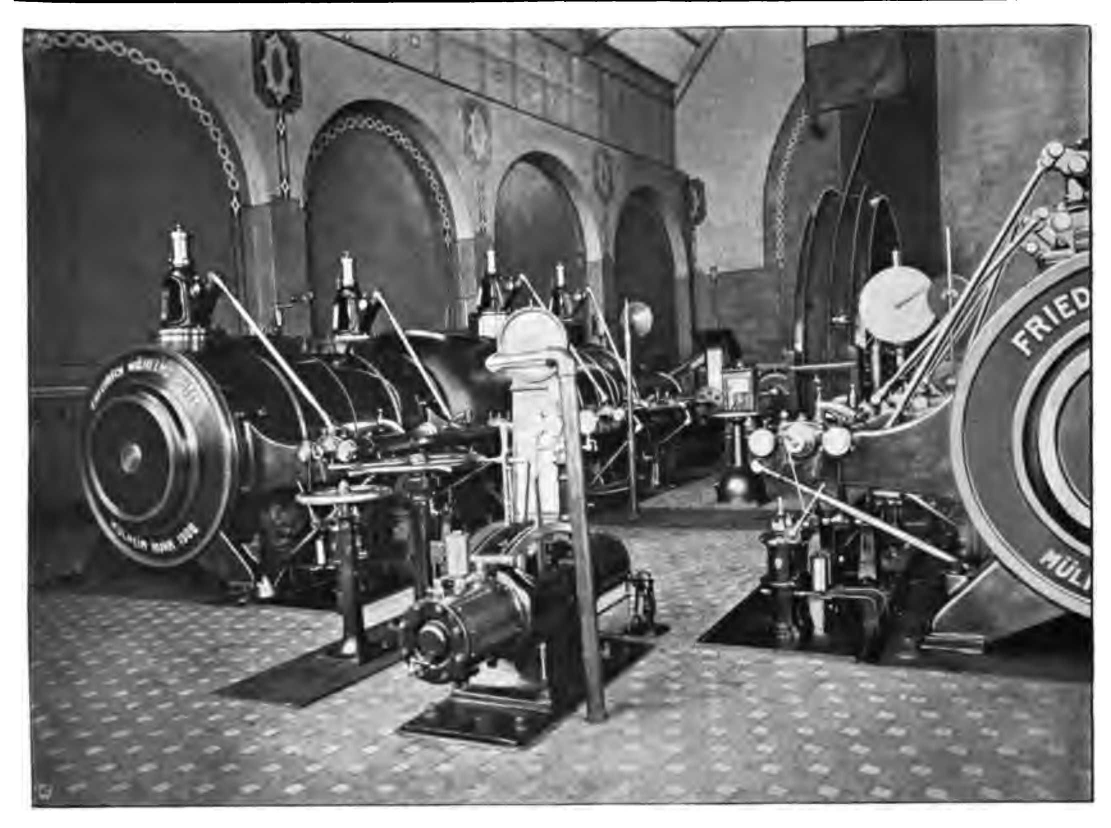


Abbildung 68. Fördermaschine in Tandemanordnung mit Treibscheibe.

über dem Schacht ruhenden Seilscheiben und sind durch das Gewicht der in der Tiefe daranhängenden Fördergestelle beschwert. Infolgedessen liegt das Seil sehr fest in der Rinne, die ringsum in die Treibscheibe eingearbeitet ist. So stark ist wegen dieses Gewichts die Reibung des Seiles auf dem Holzfutter der Rille, daß es selbst bei schneller Drehung der Treibscheibe darin nicht gleitet. Diesen Umstand des Haftens des Seiles auf der Treibscheibe hat zuerst Koepe dahin nutzbar gemacht, daß er durch die Fördermaschine die Treibscheibe drehen und dadurch das eine Seilende im Schachte senken, das andere gleichzeitig heben läßt. Durch den Fortfall der schweren Massen der breiten Seiltrommeln wird an Kraft gespart. Auch bleibt das Seil, das nur einmal leicht gebogen wird, weit haltbarer, als wenn es auf einer Trommel vielfach um und um geschlungen werden muß und die einzelnen Windungen sich womöglich aneinander scheuern. Die Koepeförderung hat nur den einen Nachteil, daß sie die Hauptförderung an eine Sohle bindet, da der Abstand zwischen den beiden Förderkörben nicht geändert werden kann, es sei denn, daß man das Seil durch Abhauen kürzte. Mit einem Förderkorb kann man bei der Koepeförderung natürlich jede Sohle erreichen, aber nur in einer einzigen Stellung ist zur gleichen Zeit das volle Fördergestell an der Schachtmündung und das andere an einer Sohle, so daß gleichzeitig, wie es flotter Betrieb bedingt, oben die vollen Wagen durch leere und unten leere durch volle ersetzt werden können. Bei Fördermaschinen mit Seiltrommel läßt sich dagegen leicht binnen wenigen Minuten der Abstand zwischen den beiden Fördergestellen ändern: die eine Hälfte der Seiltrommel wird von der Welle,

auf der sie sitzt, gelöst und durch Drehen der anderen Hälfte der Abstand zwischen den beiden Förderkörben geändert.

Als Antriebskraft für Fördermaschinen steht noch in ausgiebigem Maße Dampf in Gebrauch (Abbildung 67 u. 68) und wird es auch noch geraume Zeit hindurch bleiben, da der Dampfbetrieb sich beim Antrieb von Fördermaschinen in sehr vielen Fällen doch ökonomischer gestaltet als Elektrizität. Besonders auf älteren Anlagen, auf denen eine billige Elektrizitätsquelle nicht zur Verfügung steht, wird man auch in Zukunft selbst beim Ersatz von veralteten Fördermaschinen in der Hauptsache beim Dampfantrieb bleiben. Auf neuen großen Steinkohlenbergwerken können allerdings die Anlagen zur Erzeugung von Elektrizität mit modernen Hilfsmitteln, insbesondere durch Verwendung von Dampfturbinen, derart ausgebildet werden, daß der elektrische Betrieb (Abbildung 69) auch der Fördermaschinen im allgemeinen wohl ähnlich billig durchgeführt werden kann wie mit Dampf. Eine Überlegenheit des elektrischen Antriebes bei Fördermaschinen in den Betriebskosten scheint aber gerade nach den allerneuesten, von unparteiischer Seite ausgeführten Untersuchungen noch nicht erwiesen.

Die betriebstechnische Sicherheit der elektrisch angetriebenen Fördermaschinen ist unbestritten. Ihr Antriebsmotor sitzt bei allen Hauptfördermaschinen für große Leistungen auf der gleichen Welle, welche die Seiltrommel oder die Treibscheibe trägt (Abbildung 69). Er wird nicht direkt von der Elektrizitätsquelle aus mit Energie gespeist, sondern bildet nur einen Teil eines aus mehreren Stücken bestehenden elektrischen Aggregates. Diesem ganzen Aggregat wird stets die gleiche Elektrizitätsmenge von der Kraftquelle aus zugesandt, und zwar ein solches Maß, das dem mittleren Verbrauch des Fördermotors entspricht. Beim Anfahren verzehrt er viel, gegen Ende des Spiels immer weniger und in Ruhepausen zwischen den einzelnen Zügen gar keine Kraft. Für diese großen Unterschiede wird innerhalb des genannten Aggregates der Ausgleich geschaffen. Hierfür sind zwei Systeme in Anwendung: bei dem einen dient der jeweils überschüssige Strom zur Speisung einer Akkumulatorenbatterie, die in den Augenblicken erhöhten Energiebedarfs Elektrizität an den Fördermotor zurückgibt, sozusagen als Puffer wirkt und daher auch Pufferbatterie heißt. Bei dem anderen System (Ilgner) besteht das ausgleichende Instrument in einem ungewöhnlich schweren Schwungrad von relativ geringem Durchmesser. Es dreht sich auf der Welle des sogenannten Steuerdynamos, eines Umformers, welcher den ihm von der Elektrizitätsquelle zukommenden beliebig gearteten Strom in Gleichstrom von veränderlicher Spannung verwandelt. Bei Stillstand der Fördermaschine setzt sich die dem Umformer übermittelte elektrische Kraft in Beschleunigung der Schwungmassen des Schwungrades um. Verbraucht dagegen der Motor der Fördermaschine Kraft, so gibt das Schwungrad an den Umformer so viel Energie zur Erzeugung von Elektrizität ab, als über den von der Zentrale gelieferten Durchschnitt des Gesamtverbrauches jeweils benötigt wird. — In beiden Fällen, sowohl bei der Pufferbatterie wie bei dem Ilgner-Umformer, arbeitet der Fördermotor seinerseits dann als Elektrizitätserzeuger, als Dynamo, wenn lediglich ein Senken von Last statthat. Die dabei erzeugte Elektrizität gibt der Motor an die Pufferbatterie oder das Schwungrad ab und speichert sie hier auf.

Der geringe Raumbedarf elektrischer Fördermaschinen ermöglicht eine ganz neue Anordnung der Förderanlage. Bis vor kurzem kannte man nur eine solche, bei der die Fördermaschine auf der Erdoberfläche in geringer Entfernung vom Schacht aufgestellt war, die Förderseile von der Maschine aus nach der Höhe des Fördergerüstes und hier über die Seilscheiben hinunter in den Schacht geleitet wurden. Mit gutem

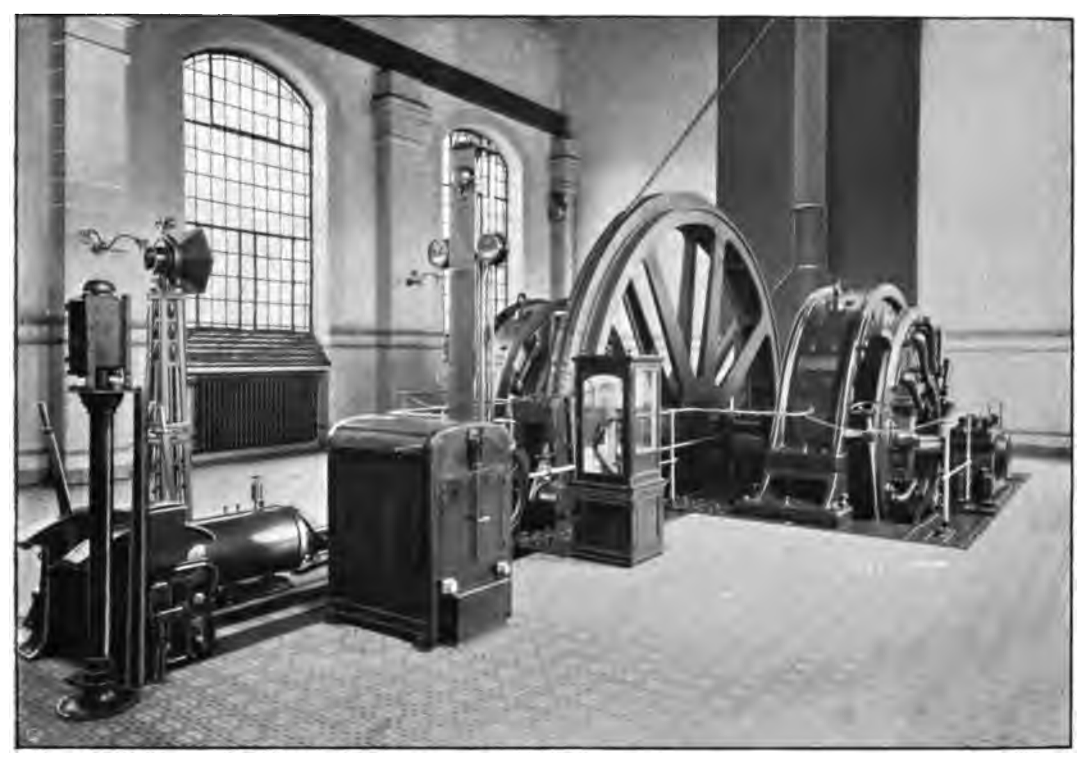


Abbildung 69. Elektrisch angetriebene Fördermaschine.

Erfolg ist neuerdings bei elektrischem Antrieb und Benutzung von Treibscheibe die letztere mit ihrem Antriebsmotor unmittelbar über den Schacht oben in das Fördergerüst verlegt worden. Die übrigen Teile des Antriebsaggregates stehen nach wie vor zu ebener Erde. Der Führerstand ist bei einigen solchen Anlagen ebenfalls in die Höhe verlegt, bei anderen auf der Erde verblieben. Die Anordnung verringert die Anlagekosten nicht unwesentlich und dürfte sich auch wegen einer Reihe anderer Vorteile, die sie gewährt, in Zukunft verbreiten.

Jegliche Art von Fördermaschine muß bei eintretender Gefahr in der kürzesten Zeit stillgesetzt werden können. Zu dem Zwecke sind Bremsen, welche ein um die Seiltrommel oder Treibscheibe gelegtes Stahlband ganz fest anziehen können, derart eingestellt, daß ein Hebelgriff ein schweres Fallgewicht zum Niedergehen bringt und damit unweigerlich die Bremse plötzlich in schärfste Tätigkeit setzt. Dampf oder Preßluft üben hierbei die zum Bremsen nötige erhebliche Kraft aus.

Der Maschinenwärter kann den jeweiligen Stand der Förderkörbe im Schacht durch einen Teufenzeiger feststellen, dessen Zeiger genau in dem Maße fortschreitet wie das zugehörige Fördergestell. Nähert sich das Treiben seinem Ende, so schärft ein vom Teufenzeiger in Bewegung gesetztes Glockenzeichen die Aufmerksamkeit des Maschinisten. Bei modernen Anlagen wird jetzt durchweg mit einer Geschwindigkeit von 10 m per Sekunde gefördert („gefahren"). Bei solcher Geschwindigkeit bedarf es der größten Aufmerksamkeit des Maschinisten, damit der Kraftauftrieb zur rechten Zeit abgestellt und die Maschine genau dann zum Halten gebracht wird, wenn die Fördergestelle an ihren Bestimmungsstellen angelangt sind. Versäumt der Maschinist

den richtigen Augenblick, so kann es leicht vorkommen, daß das eine Fördergestell zu hoch gezogen wird und mit Macht in das Fördergerüst hinauffährt. Durch den Widerstand, den es hier findet, kann das Förderseil zerrissen werden, und das Fördergestell saust dann in die Tiefe. Schwere Betriebsstörungen sind stets, böse Unglücksfälle häufig die Folgen dieses sogenannten Übertreibens. Mannigfache Sicherheitsvorrichtungen sollen einen derartigen, durch Unachtsamkeit herbeigeführten Unfall verhüten. Die meisten suchen ein langsames automatisches Abstellen der Antriebskraft gegen Ende des Treibens herbeizuführen. Die mit den elektrisch betriebenen Fördermaschinen verbundenen Sicherheitsapparate solcher Art scheinen zuverlässig; die übrigen haben schon zu häufig versagt oder zur unrechten Zeit gewirkt, als daß der erfahrene Bergtechniker ihnen volles Vertrauen schenken könnte.

SEPARATION, WÄSCHEREI, BRIKETTIERUNG DER STEINKOHLE. Die den Schacht über Tage umgebende Plattform, auf der die beladenen Grubenwagen vom Fördergestell heruntergeschoben („abgezogen") werden, führt die Bezeichnung Hängebank (Abbildung 70). Auf der Hängebank werden die Wagen in Kreiselwippern umgekippt und dadurch entleert. Die Förderkohle fällt auf Roste, deren Stäbe oder Glieder durch einen Mechanismus abwechselnd auf und ab bewegt werden und dadurch die Kohle langsam nach ihrem unteren Ende hinrollen. Aber nur die ganz groben Stücke gelangen auf dem Rost bis an sein Ende. Hier fällt diese Stückkohle auf Lesebänder (Abbildung 71) aus Eisenblech, zu deren Seiten jugendliche Arbeiter aufgestellt sind mit der Aufgabe, die Gesteinsstücke auszulesen, welche bei der langsamen Fortbewegung des Lesebandes zwischen den zerstreut daraufliegenden Kohlenbrocken sichtbar werden. Am Ende der Lesebänder rutscht die nunmehr von groben Gesteinsbeimengungen befreite Stückkohle gewöhnlich direkt in Eisenbahnwagen.

Durch den Rost hindurch fällt die gesamte kleinstückige und feinkörnige Kohle. Wo diese von ausgezeichneter Reinheit ist, genügt eine Trennung der einzelnen Stückgrößen durch verschiedene Siebe, um die verschiedenen Handelsarten in marktfähigem Zustande zu erhalten. Vielfach sind im Abbau aber so viel Gesteinsstücke (Berge) hineingeraten oder als Teile von dünnen Flözzwischenmitteln, die sich im Abbau nicht absondern ließen, mit der Kohle verwachsen, daß zweckmäßig eine Aufbereitung (ein „Waschen") stattfindet (Abbildung 72).



Abbildung 70. Hängebank am Förderschacht über Tage.

Hierfür stehen sich zwei Systeme schroff gegenüber: das eine trennt zunächst in die verschiedenen Stückgrößen und wäscht jede Handelssorte für sich, das andere verwäscht die gesamte Kohle und trennt dann erst in die einzel-



Abbildung 71. Lesebänder in der Steinkohlenaufbereitung.

nen Korngrößen. Beide Systeme sind ausgiebig in Gebrauch. Es scheint, daß man auf verschiedene Weise zu einem gleich guten Betriebsereignis kommen kann. Die Trennung der reinen Kohlenstücke von den Bergen und von den aus Verwachsungen von Kohle und Gestein bestehenden Stücken erfolgt bei jedem System in Setzmaschinen (Abbildung 73). Das sind viereckige eiserne Behälter, die mit Wasser gefüllt sind. Eine etwa in der Mitte durchgezogene senkrechte Scheidewand reicht nicht bis zum Boden. Auf der einen Seite dieser Mittelwand wird ein Kolben auf und ab bewegt, der den ganzen Horizontalquerschnitt dieser Abteilung ausfüllt. Durch dessen Niederstoßen wird das Wasser aus ihr fortgedrängt, unter der Scheidewand her und auf der anderen Seite hochgepreßt. Diese Seite ist einige Dezimeter unter dem Kastenrand mit horizontalliegenden Blechsieben abgeschlossen. Über die Blechsiebe wird die ungewaschene Rohkohle mittels eines kräftig flutenden Wasserstroms herübergespült. Durch den Stoß des Kolbens jenseit der Scheidewand wird sie hochgehoben und im Wasser zum Schweben gebracht. Sobald der Kolbendruck nachläßt, sinken die einzelnen Stücke wieder und dabei naturgemäß die schwersten am schnellsten. Infolgedessen sammeln sich die Berge auf dem Sieb an, und die reinen Kohlenstücke werden von dem starken, über die Siebe hinflutenden Wasserstrom ständig über den Rand der Setzmaschine hinübergehoben und durch ein Gefluter abgeführt. Die auf den Sieben der Setzmaschinen sich ansammelnden „Waschberge“ werden regelmäßig selbst-

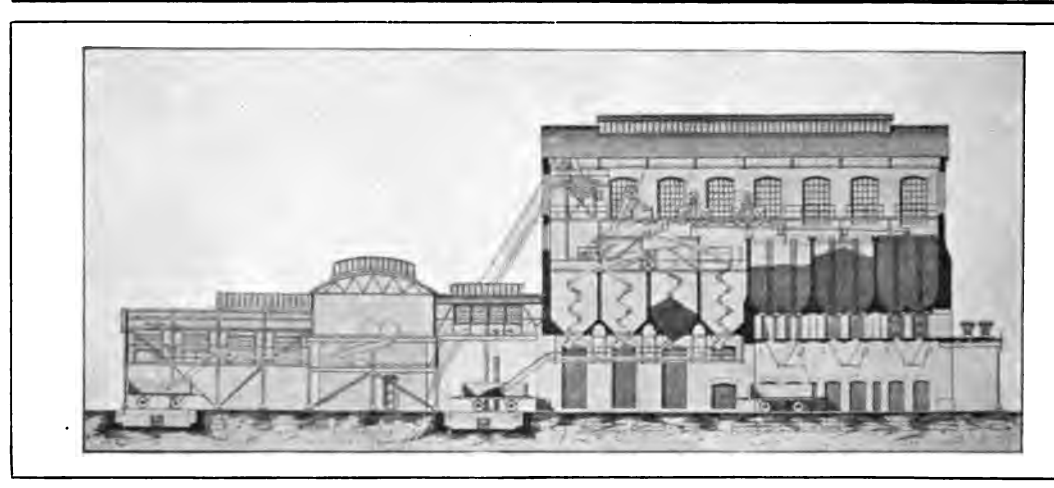
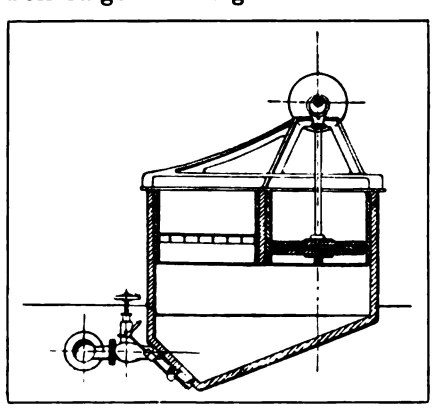


Abbildung 72. Steinkohlen-Aufbereitungsanlage der Zeche Monopol bei Camen. Links Grubenwagenwipper und Leseband; rechts Kohlenwäsche, oben Setzmaschinen, in der Mitte Vorratsbehälter, unten Verladung.

tätig von dort entfernt, so daß der Apparat Tag und Nacht ohne Unterbrechung weiterarbeiten kann. Dort, wo die Kohle mit Bergen sehr innig verwachsen ist, muß dem Waschprozeß in den Setzmaschinen eine Zerkleinerung der Kohlenstücke vorangehen, welche die eingewachsenen Berge nach Möglichkeit isoliert.

In Siebtrommeln werden die einzelnen Korngrößen abgetrennt, welche als die verschiedenen Nußkohlensorten (Nuß I, Nuß II usw.) in den Handel kommen, und den Vorratsbehältern zugeführt, aus denen sie in die Eisenbahnwaggons aufgegeben werden (Abbildung 72 und 74).

Die Feinkohle endlich ist als solche nicht absatzfähig. Soweit sie verkokbar ist, wird sie vorwiegend in Koks verwandelt, nur bei Mangel an Koksabsatz brikettiert. Wenn sie von Eßkohle und Magerkohle herstammt, wird sie in der Regel zu Briketts verarbeitet. In jedem Falle ist es wichtig, daß sie möglichst von dem großen Feuchtigkeitsgehalt befreit ist, den sie beim Waschen bekommen hat. Nur sehr schwer trennt sich das Wasser von den feinen Kohleteilchen. Durch Tropfbänder, Filter und andere Einrichtungen sucht man das Abtrocknen zu fördern, kann aber damit nur schwer zu befriedigenden Ergebnissen kommen. In weiten gemauerten oder eisernen Behältern wird die Feinkohle gesammelt (Abbildung 72 und 74) und in Kippwagen dem Orte ihrer weiteren Verarbeitung zugeführt. Wie aus ihr Koks bereitet wird, mag im folgenden Abschnitt dieses Buches nachgelesen werden.



Abbild. 73. Setzmaschine im Querschnitt.

Dagegen sei die Brikettierung der Steinkohle hier kurz geschildert. Es läßt sich hierzu nur fein zerkleinerte Kohle verwenden. Nötigenfalls muß die Zerkleinerung — gewöhnlich in Schleudermühlen — der Brikettierung vorangehen. Das Steinkohlenklein backt allein unter dem anwendbaren Druck nicht hinreichend fest zusammen, wie es feine Braunkohle tut. Es muß deshalb mit einem Bindemittel gemischt werden. Hierzu wird vorwiegend

Pech genommen. Dessen Verwendung liegt schon deswegen im allgemeinen am nächsten, weil es aus dem Teer, der bei der Koksherstellung gewonnen wird, dargestellt wird.

Das Pech muß gleichfalls zerkleinert werden — auf Steinbrechern, Knackwerken und zum Schluß Feinzerkleinerungsmaschinen wie Schleudermühlen und Kollergängen — und wird alsdann innig mit dem Kohlenklein gemischt. Das letztere wird nötigenfalls vor dieser Vermischung noch einer Trocknung in Trockentrommeln oder auf Dampftelleröfen, ähnlich den oben bei der Braunkohlenbrikettierung geschilderten, unterworfen. Wo eine derartige Trocknung nicht notwendig ist, wird der letzte Rest

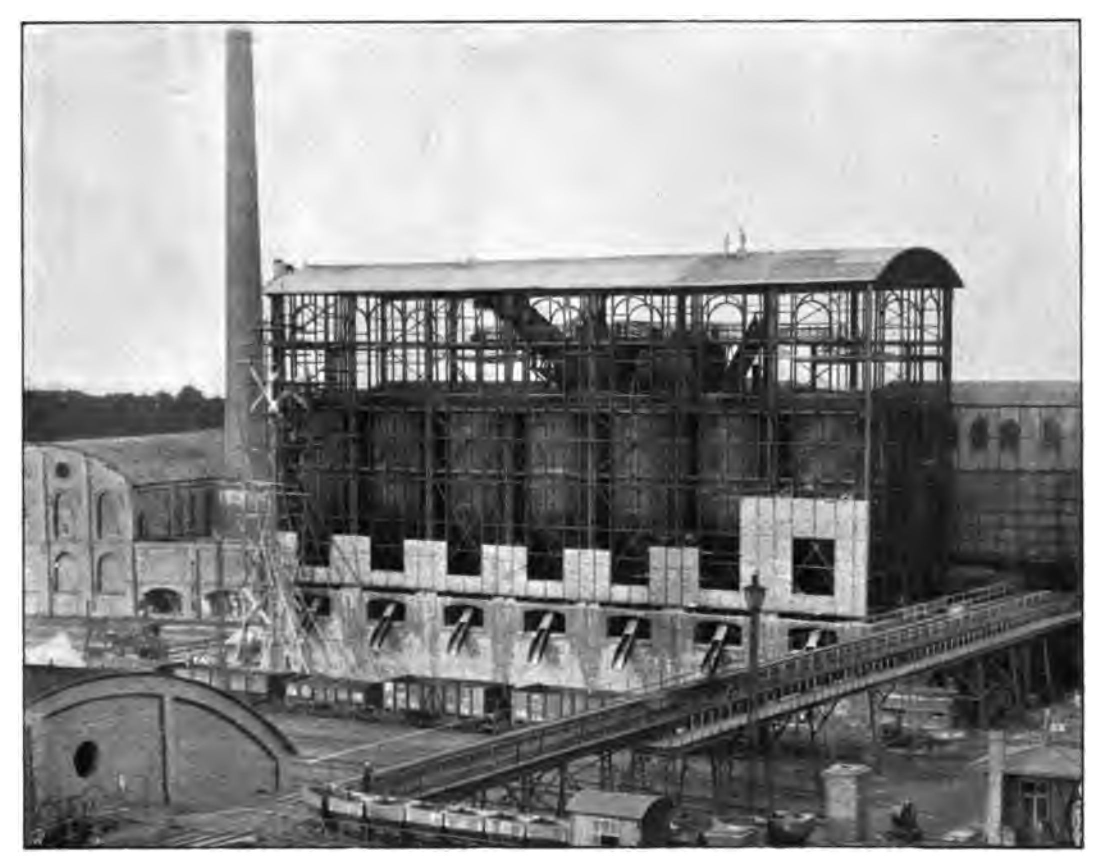


Abbildung 74. Kohlenwäsche im Bau, Zeche „Zollverein".

von Wasser dadurch aus der Kohle getrieben, daß das Gemisch von Feinkohle und Pechstaub nunmehr zusammen erhitzt wird. In den hierfür gebräuchlichen Apparaten findet gleichzeitig ein inniges Durchkneten des Gemisches statt. Die Erhitzung geschieht in Öfen, in denen das Gemisch auf einem sich langsam drehenden eisernen Tisch durch ein darüber starr angebrachtes Rührwerk hin und her gewendet wird. Die Flamme einer seitwärts angeordneten Feuerung streicht über den Tisch und führt die Erwärmung bis zu einem solchen Grade herbei, daß das Pech eben schmilzt und sich gründlich mit der Kohle vermischt. Der Zweck wird auch erreicht in sogenannten Dampfknetwerken, senkrechtstehenden Zylindern, in welchen das Gemisch durch einströmenden Dampf warm und weich gehalten sowie durch die auf einer senkrechten Achse sitzenden eisernen Flügel durchgeknetet wird.



Abbildung 75. Steinkohlenbrikettfabrik.

Das auf solche Weise vorbereitete Rohmaterial wird in ganz anderer Art zu Briketts geformt und gepreßt, wie es bei der Braunkohlenbrikettierung geschieht. Es wird gleichzeitig von zwei Seiten gepreßt durch zwei sich gegenüberstehende und in entgegengesetzter Richtung bewegliche Preßstempel. Die Hohlformen für die Briketts, in denen sie durch den Druck der gegeneinander wirkenden Preßstempel erzeugt werden, liegen bei dem in Deutschland sehr gebräuchlichen System Tigler zu mehreren in einer Reihe nebeneinander, so daß mit einem Druck der Presse gleichzeitig mehrere — bis zu 8 Briketts — hergestellt werden. Bei zwei anderen verbreiteten Systemen liegen die Hohlformen zu 4—24 Stück über die randliche Zone einer kreisrunden schweren Gußeisenplatte regelmäßig verteilt. Diese Formplatte bewegt sich um eine entweder vertikal liegende (Coufinhall; Abbildung 75) oder horizontal stehende Achse (Revolverpresse) ruckweise so, daß mit jedem Ruck eine Hohlform an die Stelle tritt, an der das Stempelpaar sich gegenübersteht und sich im nächsten Augenblick von beiden Seiten in diese Hohlform hineinpreßt. Bei der Coufinhallpresse fallen die Briketts beim Weiterrücken der Platte an passender Stelle aus der Hohlform von selbst heraus, bei den Revolverpressen müssen sie durch einen besonderen Stempel aus ihnen ausgestoßen werden.

Bei der Steinkohlenbrikettierung wird ein wesentlich geringerer Druck in den Preßstempeln zur Wirkung gebracht als bei der Braunkohlenbrikettbereitung: je nach der

Härte der verwendeten Kohle in der Regel 200—300 Atmosphären, bei kleinen Briketts auch wohl nur bis 50 Atmosphären. Die Leistung einer Presse hängt wesentlich von der Größe der Briketts ab. Wenn z. B. 8 Stück 3-kg-Briketts gleichzeitig gepreßt werden, so werden in zehnstündiger Arbeitszeit 130—140 t von der gleichen Pressenkonstruktion hergestellt, welche bei gleichfalls 10 Pressungen in der Minute von 6-kg-Briketts mit jedem Hub zwar nur 6 Stück erzeugt, in 10 Stunden aber das sehr viel höhere Gewicht von 200—210 t Briketts dieser Art fertigmacht. Die schweren Briketts von 3—12,7 kg Stückgewicht werden überwiegend für Verkehrszwecke (Lokomotiv- und Schiffskessel) hergestellt. Ihre regelmäßigen Formen ermöglichen ein dichtes Stapeln und eine leichte Hantierung, ihr Pechgehalt macht sie leicht entzündlich. Neben diesen Kesselbriketts werden aus Steinkohlen auch noch solche in kleinen Abmessungen für verschiedene Industriezwecke und als Hausbrand hergestellt. Eckige Steinkohlenbriketts dieser Art werden durch Abschneiden von dem weichen Rohmaterialstrang in ähnlicher Weise wie die Braunkohlen-Naßpreßsteine erhalten. Wesentlich besser fallen diese Briketts aber aus, wenn sie in einer Tiglerpresse mit kleinen Hohlformen (für 35—135 g) erzeugt werden. Die für Hausbrand sehr beliebten Eierbriketts (Anthrazitnüsse, 35—125 g) entstehen zwischen zwei mit halbkugelartigen Höhlungen versehenen und gegeneinander sich drehenden Walzen, wenn das weiche Brikettierungsmaterial zwischen sie geführt wird.

In ihrer Wärmewirkung müssen Steinkohlenbriketts den gröberen Sorten der zu ihnen verwendeten Rohkohlen etwa gleichkommen. Der Aschengehalt, welcher in der Feinkohle leicht ein höherer ist als im Durchschnitt aller Korngrößen einer Kohlensorte, darf in den Steinkohlenbriketts nicht zu groß sein, keinesfalls 10% übersteigen, sonst wird ihr Heizeffekt zu sehr gedrückt.



Abbildung 76. Tagesanlage am Annieschacht der Schantung-Bergbaugesellschaft.

ERZEUGUNG VON EISEN AUS EISENERZEN UND SEINE UMWANDLUNG ZU SCHMIEDBAREM EISEN, STAHL ODER GIESZEREIERZEUGNISSEN

VON WALTHER MATHESIUS

In der Gegenwart wird Eisen aus seinen Erzen für gewerbliche Zwecke überwiegend in der Form des Roheisens gewonnen; dieses Produkt bildet dann das Ausgangsmaterial für die verschiedensten sich anschließenden hüttenmännischen Prozesse, welche durchgeführt werden zum Zwecke der Erzeugung von Fertigprodukten.

Die Abscheidung des Eisens aus seinen Erzen erfolgt durch Ausführung einer Schmelzarbeit in einem Schachtofen, dem Hochofen.

In den schwachkegelförmigen Schacht eines solchen Ofens werden die Erze mit Zuschlägen in wechselnden Schichten mit Koks am oberen Ende des Schachtes eingefüllt, während durch Einpressen von Wind am Fuße desselben im Ofen ein Feuer unterhalten wird.

Die Zusammensetzung der Beschickung muß so gewählt werden, daß — mit Ausnahme der gasförmigen Produkte — die gesamte Menge des oben in den Ofen eingefüllten Materials demselben unten in flüssigem Zustande entnommen werden kann. Bei normalem Gange des Betriebes scheidet sich das erzeugte metallische Eisen infolge seines wesentlich höheren spezifischen Gewichts von den übrigen Bestandteilen der Beschickung, die miteinander eine Schlacke bilden.

Mit dem Namen „Roheisen" bezeichnet der Hüttenmann alle diejenigen verschiedenen Eisensorten, welche dem Hochofenprozeß direkt entstammen. Diese Produkte bestehen aus Legierungen zwischen Eisen, Kohlenstoff, Silizium, Mangan, Phosphor, Schwefel und einer großen Reihe anderer Körper, die in kleineren Mengen in diesen Erzeugnissen auftreten und deshalb nicht imstande sind, einen die Qualität des Produktes bestimmenden Einfluß auszuüben. Aus diesem Grunde soll auf deren Anführung hier verzichtet werden. Je nach dem Gehalt an den fünf erstgenannten Körpern unterscheidet man nun verschiedene Arten von Roheisen. In erster Linie charakterisierend ist für dieselben das Aussehen der Bruchfläche, welches seinerseits abhängig ist von der Art und Menge des in dem Eisen vorhandenen Kohlenstoffs.

Flüssiges Eisen vermag im Hochofen, in welchem es sich in inniger Berührung mit Koks befindet, wechselnde Mengen von Kohlenstoff (im Maximum etwa bis zu 4%) zu lösen, und dieser Kohlenstoff bleibt beim Erstarren des Eisens je nach dem Gehalt desselben an Mangan und Silizium entweder in chemischer Bindung mit dem Eisen oder wird in mehr oder minder vollkommenem Maße in der Form von feinen Graphitblättchen ausgeschieden, die gleichmäßig die ganze Masse des Eisens durchsetzen.

Bleibt der Kohlenstoff in Bindung mit dem Eisen, so erscheint die Bruchfläche weißlich, der natürlichen Farbe des reinen Eisens annähernd entsprechend. Wird der Kohlenstoff als Graphit ausgeschieden, so geben die Graphitblättchen der Bruchfläche

ein graues Aussehen. Der Hüttenmann unterscheidet hiernach weißes und graues Roheisen.

Legierungen, welche nur aus Eisen und Kohlenstoff bestehen, zeigen weiße Bruchfläche. Ein Gehalt an Mangan ändert hieran nichts. Wenn dieser Körper in größeren Mengen in der Legierung vorhanden ist, steigt die Lösungsfähigkeit des Eisens für Kohlenstoff, und es bilden sich auf der Bruchfläche ziemlich große spiegelnde Flächen, nach denen man dem Produkte den Namen „Spiegeleisen" gegeben hat.

Tritt zur Legierung von Eisen und Kohlenstoff Silizium hinzu, so vermindert sich die Lösungsfähigkeit des Eisens für Kohlenstoff, und das Silizium bewirkt während des Erstarrungsvorganges die Ausscheidung eines großen Teiles des Kohlenstoffs in der Form der bereits erwähnten Graphitblättchen.

Der Legierungsbestandteil Phosphor übt einen hervortretenden Einfluß auf die Beziehungen zwischen Eisen und Kohlenstoff nicht aus, ebensowenig der Schwefel, aber diese beiden Bestandteile beeinflussen in starkem Maße die Qualitätseigenschaften des Eisens und bedingen deshalb die Anwendung bestimmter hüttenmännischer Prozesse in der Weiterverarbeitung des Roheisens.

Hiernach unterscheidet man nun eine Reihe verschiedener Roheisensorten, die in den ihnen eigentümlichen Benennungen und unter Angabe ihrer normalen chemischen Zusammensetzung in der nachfolgenden Tabelle 1 zusammengefaßt sind.

Tabelle 1.

Roheisensorte	Gesamt-C. %	Silizium %	Mangan %	Phosphor %	Schwefel %	Kupfer %
Hämatit	ca. 3,5	2—3	n. über 1,3	n. über 0,1	n. über 0,04	—
Gießereiroheisen Nr. I	ca. 3,5	n. unter 2,5	„ „ 1,0	„ „ 0,6	„ „ 0,04	—
Gießereiroheisen Nr. III						
a) rhein.-westfäl.	3,5—4	1,8—2,5	unter 1,0	unter 0,9	n. über 0,06	—
b) Siegerländer	3,5—4	1,8—2,5	0,8—1,25	0,6—0,9	„ „ 0,05	—
c) Lothringen-Luxemburg	3,5—4	1,8—2,5	ca. 0,5	bis 1,7	„ „ 0,05	—
Puddeleisen						
a) rhein.-westfäl.	2—3	0,4—0,8	2—3	0,3 - 0,5	n. über 0,08	n. über 0,35
b) Siegerländer	2—3	0,4—0,8	3- 5	0,3—0,5	„ „ 0,08	„ „ 0,35
Stahleisen						
a) rhein.-westfäl.	3—4	0,5—1	3—5	n. über 0,1	n. über 0,04	n. über 0,30
b) Siegerländer	3—4	0,5—1	4—6	„ „ 0,1	„ „ 0,04	„ „ 0,40
Thomaseisen	ca. 3	0,5—0,8	ca. 2,0	ca. 1,8	ca. 0,12	—
Bessemer-Roheisen	3—4	1,5—3	0—3	n. über 0,01	n. über 0,04	—
Spiegeleisen	4—5	0,3—0,8	5—20	„ „ 0,15	Spuren	—
Ferromangan	bis 7,5	bis 1,5	20—85	„ „ 0,15	„	—
Ferrosilizium	1—3	5—18	—	„ „ 0,15	—	—

Die in diese Tabelle aufgenommenen Namen sind zum Teil nach Maßgabe desjenigen hüttenmännischen Prozesses gewählt, welchem die betreffenden Roheisenarten im Verlauf der weiteren Arbeit zugeführt werden. So bezeichnet man mit Gießereieisen diejenigen Eisenarten, die in Eisengießereibetrieben durch die Operation des Gießens in bestimmte endgültige Formen übergeführt werden sollen; mit Bessemereisen dasjenige Eisen, welches unter Anwendung des Bessemerprozesses in schmiedbares Eisen umgewandelt, mit Thomaseisen dasjenige Produkt, welches einer weiteren Verarbeitung im Thomasverfahren unterzogen werden soll. Im gleichen Sinne sind die Bezeichnungen Puddeleisen und Martineisen zu verstehen.

Zu den Roheisenarten zählt man im allgemeinen auch Legierungen, welche, wie die obige Tabelle zeigt, besonders reich sind an Mangan oder Silizium, und nennt sie dann Ferromangan resp. Ferrosilizium.

Da gegenwärtig fast alles Eisen aus seinen Erzen in der Form des Roheisens dargestellt wird, kann der Einfluß der Eisenindustrie auf das wirtschaftliche Leben der Gegenwart beurteilt werden einerseits nach der Menge des erzeugten Roheisens, anderseits nach der Art der Darstellung desselben und seiner weiteren Verarbeitung.

Eine ungefähre Vorstellung von der Bedeutung der Roheisenerzeugung für das wirtschaftliche Leben gewinnt man durch eine freilich nur in summarischer Weise mögliche Schätzung des Geldwertes derselben und durch Vergleich der Menge der gegenwärtigen Erzeugung mit derjenigen früherer Zeiten.

Die Roheisenerzeugung der ganzen Welt beläuft sich schon seit einiger Zeit jährlich auf ungefähr 60 Millionen Tonnen. Nimmt man den Erzeugungswert einer Tonne Roheisen im Durchschnitt zu etwa 50 Mark an, so entspricht der Wert der Gesamtroheisenerzeugung der Summe von 3 Milliarden Mark. Dieser Wertbetrag dürfte sich durch die Weiterverarbeitung des Eisens zu Fertigprodukten auf mehr als das Doppelte bis Dreifache erhöhen.

Ein Bild von der Steigerung der Roheisenerzeugung in den Hauptproduktionsländern innerhalb der letzten 60 Jahre gewährt das hier beigefügte Schaubild Nr. 1.

Es ist in der technischen Literatur gebräuchlich, an die Stelle von umfänglichen tabellarischen Angaben mit Anführung außerordentlich vieler unübersichtlicher Zahlendaten eine bildliche Darstellung treten zu lassen, in welcher im allgemeinen an Stelle der Zahlenangaben Linien von gewisser Länge treten, so daß nach dem jeweils beizufügenden Maßstabe aus diesen Abbildungen mit hinlänglicher Genauigkeit eventuell die Zahlen einer Tabelle entnommen werden können.

In dem Schaubild Nr. 1 bedeuten auf der Grundlinie, von links nach rechts gemessen, die einzelnen Abschnitte Jahre der Zeit von 1850—1909, während in der von unten nach oben aufsteigenden Richtung die Maßabschnitte Millionen Tonnen Jahresroheisenproduktion der verschiedenen Länder darstellen.

Trägt man nun auf jeder Jahreslinie, von der Grundlinie des Schaubildes ausgehend, in der Richtung nach oben die Anzahl Tonnen ein, die der jeweiligen Jahresproduktion des betreffenden Landes entsprechen, und verbindet die so markierten Punkte miteinander, so erhält man Linienzüge, deren Verlauf vollkommen übersichtlich die Entwicklung der Roheisenproduktion der verschiedenen Länder im Laufe der Jahre zur Darstellung bringt.

Aus dem Schaubild geht ohne weiteres hervor, daß in der Jetztzeit die Produktion dreier Länder sich hinsichtlich der Menge ganz wesentlich von derjenigen aller übrigen Staaten abhebt, und zwar ist dies die Produktion der Vereinigten Staaten von Nordamerika, diejenige von Deutschland und Großbritannien.

Aus dem Schaubild ergibt sich ferner, daß vor zirka 60 Jahren die Roheisenproduktion der Vereinigten Staaten sowohl wie Deutschlands noch nicht 1 Million Tonnen betrug, während diejenige Großbritanniens damals etwa die Höhe von $2^1/_2$ Millionen Tonnen erreicht hatte. Die Kurven der Produktion der Vereinigten Staaten und Deutschlands überflügeln während der darauffolgenden Periode in gewaltigem Anstiege diejenigen Großbritanniens. Das Schaubild läßt insbesondere in der Kurve der Vereinigten Staaten die stürmische Entwicklung der dortigen Roheisenproduktion erkennen. Die Kurve lehrt aber auch durch die in manchen Jahren außerordentlich großen Rückgänge der Produktion, daß das wirtschaftliche Leben der nordamerika-

nischen Union recht häufig von außerordentlich schweren Erschütterungen heimgesucht worden ist. Die rapiden Produktionsverminderungen, die das Schaubild beispielsweise für die Jahre 1876, 1884, 1894, 1896, 1903 und 1908 aufweist, konnten nur eintreten infolge des Stilllegens zahlreicher Hochöfen, welche Maßnahme für die Arbeiterschaft der Werke stets Verdienstlosigkeit und Entlassung bedeutete.

Die Entwicklung der deutschen Roheisenindustrie ist nicht so stürmisch vorwärtsgeschritten, sondern die Linie des Schaubildes zeigt ein erfreulich gleichmäßiges Anwachsen der Produktion. Immerhin sind auch hier die wirtschaftlich schweren Jahre 1874, 1876, 1886, 1900 und 1908 scharf durch Produktionsverminderungen gekennzeichnet.

Das Schaubild umfaßt die letzten 60 Jahre der Roheisenproduktion. Die industriellen Völker haben Roheisen indessen schon vor mehreren hundert Jahren erzeugt, und es würde ein Schaubild, welches die Gesamtproduktion der ganzen Welt von Anfang an zur Darstellung bringen sollte, sehr eigenartig derart verlaufen, daß die die Produktionsmengen darstellende Linie während all der Zeit, welche etwa vor dem Anfang des 19. Jahrhunderts liegt, fast parallel zur Grundlinie laufen würde, während erst von da an ein sich immer rapider gestaltendes Ansteigen dieser Kurve in Erscheinung

Roheisenerzeugung der Hauptindustriestaaten in den Jahren 1850—1909 in Millionen Tonnen.

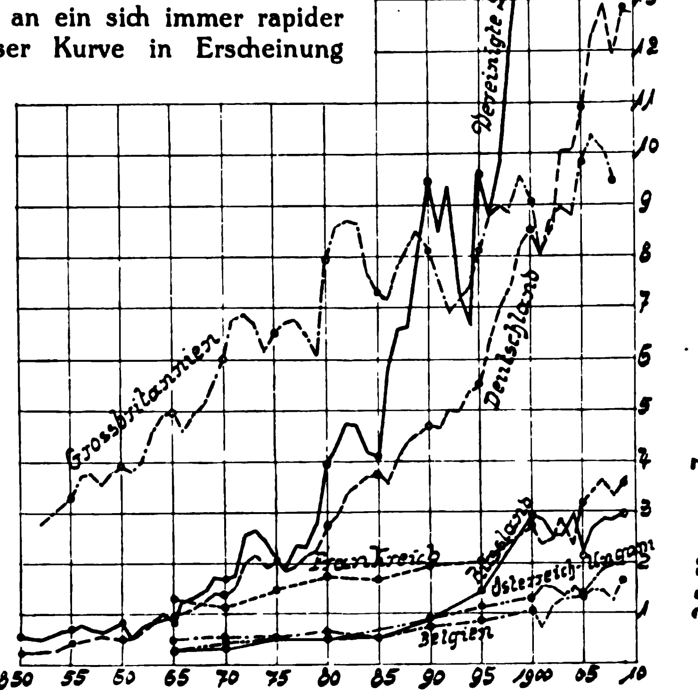


Schaubild Nr. 1. Roheisenerzeugung der Hauptindustriestaaten.

treten würde. Erst diese Vorstellung ermöglicht uns, zu erkennen, wie wunderbar die industrielle Entwicklung der letzten 100 Jahre gewesen ist. Sie ist allein dadurch möglich geworden, daß durch die fortschreitende wissenschaftliche Erkenntnis der Erzeugungsbedingungen die Kunst, Eisen zu machen, jetzt zum Gemeingut der Menschheit geworden ist, während sie die außerordentlich lange Zeitepoche der bisherigen Entwicklung der menschlichen Gewerbetätigkeit hindurch ein sorgfältig gehütetes Geheimnis einzelner gewesen ist.

Die Erfindungen, welche zu dieser außerordentlichen Produktionssteigerung geführt haben, verdienen hervorgehoben zu werden. Wir verdanken sie fast ausschließlich Angehörigen der infolge günstigerer politischer Verhältnisse uns in der industriellen Entwicklung etwa um ein ganzes Menschenalter vorausgeeilten englischen Nation.

Jahrhunderte hindurch war als Brennmaterial zum Zwecke der Erzeugung des Roheisens in Hochöfen Holzkohle verwendet worden, und es war vornehmlich die Unmöglichkeit, dieses Material in größeren Mengen zu beschaffen, die ein unüberwindliches Hindernis für eine weitere Steigerung der Roheisenerzeugung bildete.

Es kam freilich hinzu, daß auch der Bedarf der damaligen Welt an Eisen über dieses geringe Maß nicht hinausging. Er bestand ja lediglich in dem, was die primitivste Herstellung landwirtschaftlicher Geräte, was der Dorfschmied verbrauchte und in denjenigen Mengen, die für die Herstellung der damaligen primitiven Kriegswerkzeuge erforderlich waren.

Einen gewaltigen Umschwung in der Weltwirtschaft riefen nun eine Reihe epochemachender Erfindungen hervor, die in den Anfang des 19. Jahrhunderts fallen: die Konstruktion der Dampfmaschine und deren Anwendung zur Fortbewegung von Lasten auf Wegen, deren Fahrbahn in Eisen hergestellt war. Mit einem Schlage entstand ein gegen früher sehr erheblicher Bedarf an Eisen, und diesem Bedarf zu genügen, war durch eine glückliche Fügung der Ereignisse die Eisenindustrie in die Lage versetzt, da es etwa zu derselben Zeit, wiederum in England, gelang, die Erzeugung von Roheisen aus den Erzen unter Verwendung von Steinkohle statt der Holzkohle zu bewirken.

Der Besitz von Eisen gab der Menschheit die Möglichkeit, sich zum Herrn der gewaltigsten Naturkraft, des Dampfes, zu machen, und die Verwendung der Dampfkraft wiederum erhöhte den Bedarf an Eisen in einem bis dahin ungeahnten Maße. Dieser fortschreitende Mehrbedarf an Eisen war es auch, der die Hüttenleute der damaligen Zeit unablässig anspornte, nach weiterer Vervollkommnung der Erzeugungsmethoden von Roheisen und derjenigen Methoden, die gestatteten, dieses in schmiedbares Eisen umzuwandeln, zu suchen. Infolge dieser Verbesserungen, die naturgemäß zunächst in England erprobt und ausgebildet wurden, war es England möglich, seine Eisenproduktion schon von der Mitte des 19. Jahrhunderts ab in so starkem Maße zu steigern, wie unser Schaubild zeigt, und erst weitere Erfindungen, insbesondere die Entwicklung des Thomasprozesses, ermöglichten es etwa vom Jahre 1880 ab der deutschen Eisenindustrie, in einem ähnlichen raschen Anstiege der englischen Produktion zu folgen, ja etwa vom Jahre 1900 ab diese zu überflügeln, denn die englische Produktion ist etwa vom Jahre 1880 an nicht mehr in gleichem Maße weiter gestiegen, sondern annähernd auf der damals bereits erreichten Höhe stehengebieben.

Die Kurven des Schaubildes haben Schriftstellern, die es für ihre Aufgabe erachteten, sich mit der Weltwirtschaft zu beschäftigen, den Anreiz geboten, Schätzungen aufzustellen über die wahrscheinlichen Produktionsmengen der hauptsächlich Eisen erzeugenden Länder der Welt in der Zukunft. Man findet in diesen Aufsätzen durchweg

die Annahme, daß die Produktionssteigerung in demselben rapiden Tempo vorwärtsschreiten würde, welches der Verlauf der Kurven, insbesondere Nordamerikas und Deutschlands, in den letzten zwanzig Jahren zeigt.

Diese Schätzungen gelangen dann zu Produktionsmengen von einer derartigen Ungeheuerlichkeit, daß es berechtigt erscheint, die Befürchtung auszusprechen, die Eisenerzvorräte der gesamten Welt würden in nicht zu langer Zeit vollkommen aufgezehrt sein.

Erörtert man dagegen in Ruhe die Ursachen der großen Steigerung des Eisenbedarfs, so lassen wiederum die Kurven des Schaubildes erkennen, daß in jedem der drei Länder die hauptsächlichste Steigerung der Eisenerzeugung zeitlich zusammenfällt mit dem mehr oder minder raschen Ausbau der Eisenbahnen des eigenen Landes. Ganz besonders gilt dies für Amerika, dessen Eisenindustrie bis zum heutigen Tage überwiegend für den Bedarf des eigenen Landes arbeitet. Von dem Zeitpunkte, von dem der Ausbau der Eisenbahnen im großen und ganzen vollendet ist, von welcher Zeit an also nur noch der natürliche Verschleiß sowie der Bedarf für den Neubau von Zweigbahnen und für die Erweiterung und Besserausgestaltung älterer Strecken zu decken ist, kann eine Weitersteigerung des Verbrauchs von Eisen in dem außerordentlich starken Maße, wie sie in den letzten dreißig Jahren insbesondere in Amerika und Deutschland stattgefunden hat, nicht mehr erfolgen. Von diesem Augenblick an wird eine Gestaltung der Kurven eintreten, wie sie diejenige Großbritanniens etwa vom Jahre 1883 ab zeigt. Eine weitere Vermehrung der Produktion in starkem Maße könnte von da ab entweder die Auffindung neuer Verwendungszwecke für Eisen oder eine entsprechende Erhöhung des Exportes bringen. Die Aussichten indessen dürften recht gering sein, daß in den bisher eisenbahnarmen Ländern, die ihren Bedarf auf dem Weltmarkte decken, in den nächsten Dezennien ein Ausbau stattfinden sollte, der auch nur annähernd der Entwicklung des Eisenbahnwesens in den Vereinigten Staaten, in Deutschland und Großbritannien gleichkäme, und in den übrigen Verwendungsgebieten von Walzwerksfertigfabrikaten sind ebenfalls ausschlaggebende Steigerungen des Bedarfs in absehbarer Zeit nicht zu erwarten. Während vor ca. 50 Jahren der Bedarf der Eisenbahnen derjenige Verwendungszweck von Eisen war, für den die weitaus überwiegenden Quantitäten des erzeugten Eisens verbraucht wurden, liegen die Verhältnisse heute, wenigstens in Deutschland, ungefähr so, daß von den Walzwerksfertigfabrikaten verbraucht werden für:

Schienen, Schwellen und rollendes Eisenbahnmaterial . .	ca. 25%
Handelseisen (Fasson-, Bau- und Profileisen)	„ 45%
Platten, Bleche (inkl. Weißbleche)	„ 15%
Draht	„ 10%
sämtliche übrigen Verwendungszwecke zusammengenommen	„ 5%

Die Eisenbahnen sind auch heute noch die größten Einzelverbraucher von Eisen, und die normale Befriedigung oder eine Zurückhaltung ihres Bedarfs, die Beschleunigung oder Verzögerung der Bautätigkeit der Eisenbahnverwaltung wirken bestimmend auf die Tendenz des Marktes ein.

Für 75% ihrer Erzeugung an Walzwerksfertigfabrikaten muß die Eisenindustrie indessen gegenwärtig anderweit Absatz suchen. Von ausschlaggebender Bedeutung für das Gedeihen derselben ist daher die fortschreitende Verwendung von Handelseisen, Blechen, Draht usw. für die allgemeinen Zwecke des gewerblichen Lebens.

Es erscheint vielleicht noch interessant, die Ursachen zu erörtern, die in den drei Ländern zu einer so hervorragenden Entwicklung der Eisenindustrie geführt haben. Alle drei Länder besitzen zunächst Kohlen und Eisenerze in beträchtlichen Mengen. Freilich sind die relativen Lagen der Fundstätten zueinander sowie wichtige Betriebsbedingungen durchaus verschieden voneinander.

In England liegen Erze und Kohlen unmittelbar nebeneinander, und die Lagerstätten befinden sich überdies zum großen Teil in der Nähe des Meeres, so daß gleichzeitig die allergünstigsten Betriebsbedingungen sowie die besten Verhältnisse für eine Entwicklung des Exportes nach allen Teilen der Welt gegeben waren. Daraus erklärt sich wiederum das außerordentlich frühe Anwachsen der Roheisenproduktion Englands. Gleichzeitig war die Natur der Erze derart, daß die Verhüttungsbedingungen sich günstig gestalteten.

Andererseits ist die Menge der vorhandenen Erze nicht übermäßig groß, so daß einige der bedeutendsten Fundstätten heute bereits erschöpft sind und die englische Industrie zum großen Teil auf den Bezug von Erzen aus dem Auslande angewiesen ist.

Die deutsche Eisenindustrie konnte sich erst nach dem Jahre 1880 entwickeln, weil die in Deutschland vorhandenen Erze nutzbringend und in großen Mengen erst mit Hilfe des Entphosphorungsverfahrens von Thomas Gilchrist verarbeitet werden konnten. Deutschland verfügt über gewaltige Kohlen- und Eisenerzlager. Die Eisenerze sind aber relativ arm an Eisen, und es müssen recht erhebliche Entfernungen überwunden werden, um entweder die Erze zu den Kohlen- oder die Kohle zu den Erzfundstätten, oder beide Materialien an einen dritten Ort zu transportieren, an welchem die Verhüttung erfolgen soll.

Nicht alle in Deutschland verhütteten Erze fördert Deutschland selbst, es muß auch hier bereits ein sehr erheblicher Teil der zur Verhüttung nötigen Erze vom Auslande bezogen werden.

Amerika endlich verfügt über die reichsten Kohlen- und Eisenerzlager. Es besitzt insbesondere große Schätze an sehr hochprozentigen und reinen Eisenerzen, aber die Entfernung zwischen den Fundstellen des Erzes und denjenigen der Kohle ist erheblich größer als in Deutschland, und nur der Gunst besonderer Verhältnisse und der Tatkraft der amerikanischen Industriellen ist es zuzuschreiben, daß die unvermeidlichen Transportkosten trotzdessen nicht unbeträchtlich geringere sind als im Deutschen Reich.

Die Erzeugungskosten differieren endlich auf den verschiedenen Hütten innerhalb ein und desselben Landes erheblich mehr als die im Handel der drei genannten Länder in Erscheinung tretenden Roheisenpreise.

Es ist deshalb unmöglich, allgemein anzugeben, in welchem der drei Länder Roheisen zurzeit am billigsten erzeugt werden könne.

Die ca. 60 Millionen Tonnen Roheisen, welche die Jahresproduktion der Welt ausmachen, werden, wie die Statistik lehrt, aus etwa 130 Millionen Tonnen Erz erschmolzen. Es beträgt also der durchschnittliche Eisengehalt des Erzes etwa 46%. Das Schaubild Nr. 2 zeigt nun in gleichen Darstellungsverhältnissen, wie sie bei dem Schaubild Nr. 1 angewendet wurden, welche Mengen von Erz im Jahre in den verschiedenen Ländern gefördert worden sind. Die Linien lassen erkennen, daß auch hier die drei Länder Nordamerika, Deutschland und Großbritannien hinsichtlich der Menge der Förderung an der Spitze aller Staaten stehen, aber der Unterschied zwischen den Produktionen dieser drei Länder und denjenigen der nächstfolgenden ist lange nicht

mehr so erheblich wie bei den Linien des Schaubildes Nr. 1, insbesondere heben sich aus der Reihe der übrigen Länder hervor: Frankreich, Spanien und Schweden. Aus den reichen Erzlagerstätten dieser Staaten wird ein erheblicher Teil besonders derjenigen Erze gefördert, die in Deutschland und Großbritannien verhüttet werden. Wenn bisher die Entwicklung der Eisenindustrie in diesen Staaten nicht in gleichem Maße vorwärtsgeschritten ist, so liegt das einerseits an dem Umstande, daß der Kohlenreichtum dieser Länder geringer ist, und ferner daran, daß ihre Aufnahmefähigkeit für Eisen, also der Eisenbedarf, nicht in gleichem Maße entwickelt ist wie bei den drei Haupteisenländern.

Deutschland bezieht einen erheblichen Teil seines Bedarfs an Eisenerz aus dem Auslande, aber es werden auch in Deutschland geförderte Erze nach dem Auslande ausgeführt. Deutschland erzeugt mehr Eisen, als es konsumieren kann, und es muß deshalb den Überschuß seiner Produktion durch Ausfuhr an das Ausland absetzen. Trotzdessen werden spezielle Eisenerzeugnisse nach Deutschland aus dem Auslande eingeführt. Einen Überblick über diese Verhältnisse gewährt das Schaubild Nr. 3. Die beiden mit den Buchstaben A und C bezeichneten Kurven stellen die Einfuhr und Ausfuhr an Eisenerzen dar. Wir sehen aus dem Schaubild, daß in den Jahren 1896 bis 1897 die Einfuhr an Eisenerzen ungefähr gleich groß war wie die Ausfuhr. Von 1897 an übersteigt aber die Einfuhr von Eisenerzen in ganz gewaltigem Maße die Ausfuhr, so daß im Jahre 1907 einer Einfuhr von etwa $8^{1}/_{2}$ Millionen Tonnen nur eine Ausfuhr von etwa 4 Millionen gegenübersteht.

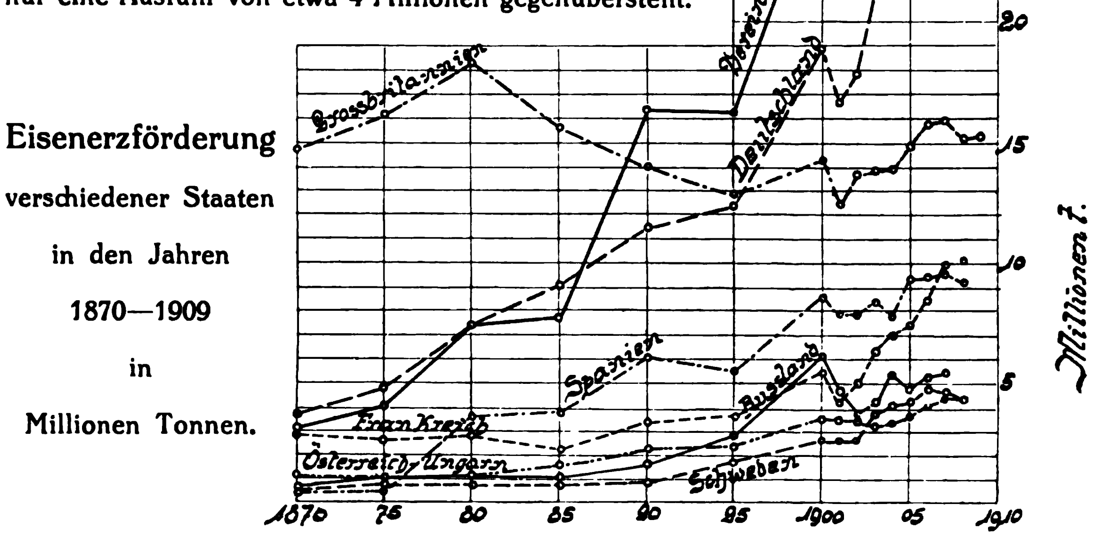


Schaubild Nr. 2. Eisenerzförderung verschiedener Staaten.

Ein erfreuliches Bild von der Steigerung der deutschen Ausfuhr an Eisenerzeugnissen gegenüber der fast gleichgebliebenen Einfuhr ergeben die mit B und D bezeichneten Kurven desselben Schaubildes. Vergleichen wir endlich die Kurve der Eisenerzeinfuhr A mit derjenigen, die die Ausfuhr der Eisenerzeugnisse darstellt, D, so ergibt sich wiederum ein erfreuliches Bild, denn wir erkennen — unter Berücksichtigung des Umstandes, daß die zur Einfuhr gelangenden Eisenerze im Mittel etwa 50% Eisen enthalten —, daß diejenigen Mengen an Eisen, die als Eizenerzeugnisse ins Ausland gehen, unserem deutschen Vaterlande in den ausländischen Erzen zugeführt worden sind. Wenn daher unsere großen Verbände der Eisenindustrie zu Zeiten einer wirtschaftlichen Depression die Ausfuhr durch entsprechend niedrige Bemessung des Verkaufspreises für das Ausland begünstigt haben, so haben sie nicht (wie ihnen vielfach vorgeworfen wird) eine Verschwendung mit deutschem Nationalbesitz getrieben, sondern sie haben lediglich den Gewinn niedriger eingestellt, den sie selbst an der Verarbeitung des von dem Auslande eingeführten Eisenerzes andernfalls gehabt hätten. Sie haben selbst finanzielle Opfer gebracht, um ihre Betriebe in dem Umfange aufrechterhalten zu können, der ihnen eine Erzielung niedriger Selbstkosten ermöglicht, der ihnen gestattet, die große Zahl ihrer Arbeiter regelmäßig zu beschäftigen, der sie vor der Notwendigkeit bewahrt, durch umfangreiche Entlassungen wirtschaftliche Not in die Kreise ihrer Arbeiter einziehen zu lassen.

Die beiden Kurven lehren uns, daß die deutsche Eisenindustrie etwa seit dem Jahre 1899 in steigendem Maße als Veredelungsindustrie tätig ist, die Rohmaterial aus dem Auslande bezieht, um Fertigerzeugnisse nach dem Auslande abzuliefern, die den großen Wertunterschied, der zwischen dem eingeführten Rohmaterial und dem ausgeführten Fertigfabrikat besteht, dem deutschen Nationalvermögen zuführt.

Die Tatsache, daß eine nicht unerhebliche Anzahl der bisher in Ausnutzung genommenen Eisenerzvorkommen bereits erschöpft ist, oder daß deren Erschöpfung in absehbarer Zeit erwartet werden muß, ferner das insbesondere in den letzten Jahren außerordentlich rapide Anwachsen der Gesamtroheisenproduktion der Welt ist Veranlassung gewesen, daß in den Kreisen der Hüttenleute schon öfter die Frage diskutiert worden ist, wie lange wohl noch die Eisenerzvorkommen diejenigen Mengen an Eisenerz zu liefern imstande sein werden, die der Betrieb der Hochöfen erfordert. Es ist nicht zu leugnen, daß auch heute schon Distrikte, in denen eine seit langen Jahren entwickelte Eisenindustrie vorhanden ist, unter einer von Jahr zu Jahr schärfer in Erscheinung tretenden Erznot zu leiden haben.

Diese die Existenzmöglichkeit der Eisenindustrie in diesen Bezirken bedrohende Gefahr kann nur dadurch abgewendet werden, daß den betreffenden Hochofenwerken der Bezug von Eisenerzen zu erträglichen Preisen aus entfernter liegenden Erzgebieten ermöglicht wird. Die Frage ist also in erster Linie eine Transportfrage, in zweiter Hinsicht eventuell eine solche internationaler Handelsverträge, insofern der Bezug von Erzen aus dem Auslande in Betracht kommt.

In dieser Beziehung ist es außerordentlich wertvoll, daß die Veranstalter des 11. internationalen geologischen Kongresses, der im Herbst 1910 in Stockholm getagt hat, die Aufgabe, möglichste Klarheit über die auf der Welt vorhandenen Eisenerzvorkommen zu schaffen, zu einem Hauptverhandlungsgegenstand des Kongresses gemacht haben. In Verfolg dieses Bestrebens sind seit Anfang 1908 umfängliche statistische Erhebungen durchgeführt worden über die Eisenerzvorkommen, und die Resultate derselben sind in einer außerordentlich eingehenden Veröffentlichung bekanntgegeben worden.

Da die Erdoberfläche noch keineswegs vollkommen erforscht ist, mußte bei Sammlung der statistischen Angaben eine Gruppeneinteilung dahingehend vorgenommen werden, daß in eine erste Gruppe diejenigen Erzvorkommen aufgenommen wurden, deren Ausdehnung und Gehalt durch eingehende, auf wirklicher Forschung beruhende Berechnung festgestellt sind. Eine zweite Gruppe umfaßt diejenigen Vorkommen, über welche nur eine annähernde Schätzung vorliegt, und einer dritten Gruppe wurden alle diejenigen Vorkommen zugeteilt, die zurzeit zwar bekannt sind, über welche aber genauere Daten nicht vorliegen. Aus dem so erhaltenen Material geht hervor, daß diejenigen Gebiete, in denen die Eisenerzvorkommen der Gruppe 1 liegen, die also genau erforscht sind, zurzeit 13,3% der Landfläche unserer fünf Erdteile umfassen, während die Gebiete, in welchen die Eisenerzvorkommen der Gruppe 2 liegen, etwa 10%, die der Gruppe 3 etwa 50% der Gesamtfläche in Anspruch nehmen. Gänzlich unerforscht sind in dieser Beziehung noch ca. 25% der Erdoberfläche.

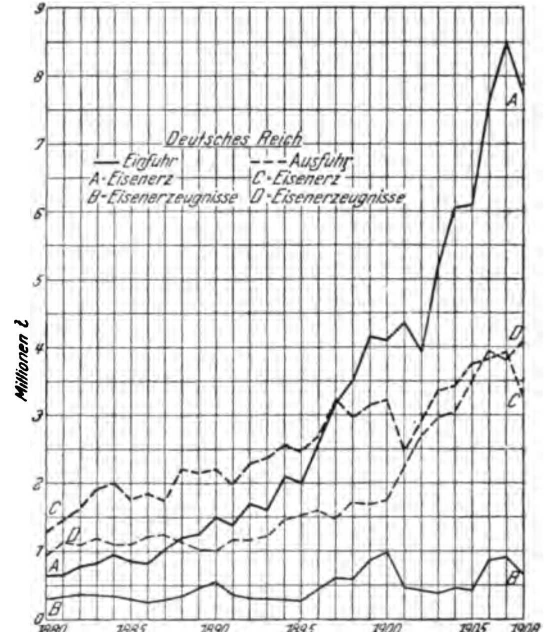


Schaubild Nr. 3. Ein- und Ausfuhr des Deutschen Reiches an Eisenerzen und Erzeugnissen.

Naturgemäß kann eine eingehendere Erörterung nur die Erzvorkommen der Gruppe 1 zurzeit in Betracht ziehen.

Die Tabelle 2 enthält eine Zusammenstellung dieser Vorkommen, und zwar ist in der ersten Spalte derselben eingetragen die Menge der gegenwärtig nutzbaren Eisenerzvorräte der namentlich aufgeführten Länder, in der zweiten Spalte der Eisengehalt dieser Erze, in der dritten Spalte die gegenwärtige Jahresroheisenproduktion der betreffenden Länder und in der vierten Spalte diejenige Anzahl von Jahren, während deren, unter Annahme einer Fortdauer der gegenwärtigen Produktionshöhe, die Eisenerzvorräte des betreffenden Landes ausreichen würden, um den Bedarf desselben zu decken.

Tabelle 2.

	Gegenwärtig nutzbare Eisenerzvorräte Millionen Tonnen	Eisengehalt dieser Erze Millionen Tonnen	Gegenwärtige Jahres-Roheisenproduktion Millionen Tonnen	Jahre
Deutschland	3600	1270	13,0	100
Frankreich	3300	1140	3,5	300
Großbritannien	1300	455	10,0	50
Belgien	60	25	1,6	16
Rußland	860	385	2,8	140
Österreich-Ungarn	280	105	1,8	60
Die übrigen Länder Europas	2600	1320	1,3	
Europa insgesamt	12000	4700	34,0	140
Vereinigte Staaten von Nordamerika	4300	2300	26	90

Die Angaben der letzten Spalte der Tabelle sind natürlich unter der Voraussetzung berechnet, daß eine Einfuhr von Eisenerz in das betreffende Land nicht stattfinden

würde und daher die Eisenindustrie desselben bei Deckung des Bedarfs auf ihren eigenen Besitz angewiesen wäre. Unter dieser Voraussetzung würde, wie Spalte 4 der Tabelle ergibt, beispielsweise Großbritannien nur noch mit einem Eisenerzvorrat für 50 Jahre versehen sein, während Deutschland über Vorräte für wohl noch 100 Jahre verfügt; die Vereinigten Staaten von Nordamerika würden nach 90 Jahren des gegenwärtigen Betriebes ihre bis jetzt aufgeschlossenen Eisenerzvorräte verbraucht haben. Zieht man in Betracht, daß insbesondere Großbritannien und Deutschland eine sehr beträchtliche Einfuhr von Eisenerz aus anderen Ländern zu verzeichnen haben, so wird eine dieser Einfuhr entsprechende Vermehrung des Zeitraums für eine genügende Versorgung mit Eisenerz in Aussicht zu nehmen sein. Immerhin würden die gesamten in Europa vorhandenen Eisenerzvorräte der Gruppe 1 nur für ca. 140 Jahre ausreichen, den Gesamteisenbedarf der europäischen Länder zu decken.

Gegenüber dieser in nicht allzu großer Ferne mit Sicherheit zu erwartenden Gefahr ist indessen darauf hinzuweisen, daß die erwähnte Statistik sich naturgemäß gegenwärtig nur erstrecken kann auf diejenigen Eisenerzvorkommen, die mit Hilfe der heutigen Verhüttungsverfahren einer nutzbringenden Verarbeitung zugeführt werden können. Es sind dies also Erze, die ihrer Natur nach für den Hochofenbetrieb geeignet sind.

Zur Beruhigung für furchtsame Gemüter sei deshalb hinzugefügt, daß ganz besonders Deutschland, aber auch die übrigen Länder noch über überaus große Quantitäten von Eisenerzablagerungen verfügen, von denen heute schon gesagt werden kann, daß es den Fortschritten der Aufbereitungstechnik gelingen wird, sie einer nutzbringenden Verwertung zuzuführen, so daß dem Eintreten eines Zustandes, in dem der deutschen Eisenindustrie nicht mehr genügend Erze zur Verfügung stehen, um ihren Betrieb aufrechtzuerhalten, erst nach Ablauf von mehreren hundert Jahren entgegengesehen werden kann.

Das in Deutschland erzeugte Roheisen wird zum weitaus größten Teil durch die deutsche Industrie weiterverarbeitet zu Fertigfabrikaten. Einen Überblick über die Bewegung des Materials während dieser Verarbeitung gewährt das Schaubild Nr. 4, welches einen Stammbaum der deutschen Eisenindustrie für das Jahr 1909 zeigt. Wir erkennen, daß die ganz überwiegende Menge des Roheisens auf dem Wege des Thomasprozesses in Flußeisen umgewandelt wird, daß den zweitgrößten Anteil an der Verarbeitung des Roheisens die deutschen Eisengießereien für sich in Anspruch nehmen, die auf dem Wege der Formgebung durch ein zweites Schmelzen und Gießen ca. 2,3 Millionen Tonnen gußeiserne Fertigfabrikate herstellen, und daß ferner eine erhebliche Menge Roheisen durch Verarbeitung in Martinöfen in Martineisen umgewandelt wird.

Wenn die Martinöfen aus ca. 1 Million Tonnen Roheisen 4 Millionen Tonnen Flußeisen liefern, so ist dies Ergebnis dadurch zu erklären, daß im Martinofenprozeß außer dem Roheisen beträchtliche Mengen Eisenabfälle verarbeitet werden, und daß insbesondere in neuerer Zeit in erheblichem Maße Eisenerze direkt dem Martinofen zugeführt werden.

In den bisherigen Erörterungen ist versucht worden, ein allgemeinverständliches Bild über die wirtschaftliche Bedeutung der Eisenerzeugung und deren Grundlage zu geben. Eine Schilderung der Technik der Eisenerzeugung erfordert indessen auch ein näheres Eingehen auf den Darstellungsprozeß selbst.

Der Hochofenprozeß hat sich im Laufe der Jahrhunderte aus Ofenbetrieben allereinfachster Art entwickelt. Wie bereits erwähnt, bezeichnet man mit dem Namen

„Hochofen" Öfen in Schachtform, denen an ihrem oberen Ende Erze und Brennmaterial zugeführt werden, während die erzielten Produkte denselben am unteren Ende in flüssiger Form entnommen werden. Der Hochofenbetrieb wird im Gange erhalten durch

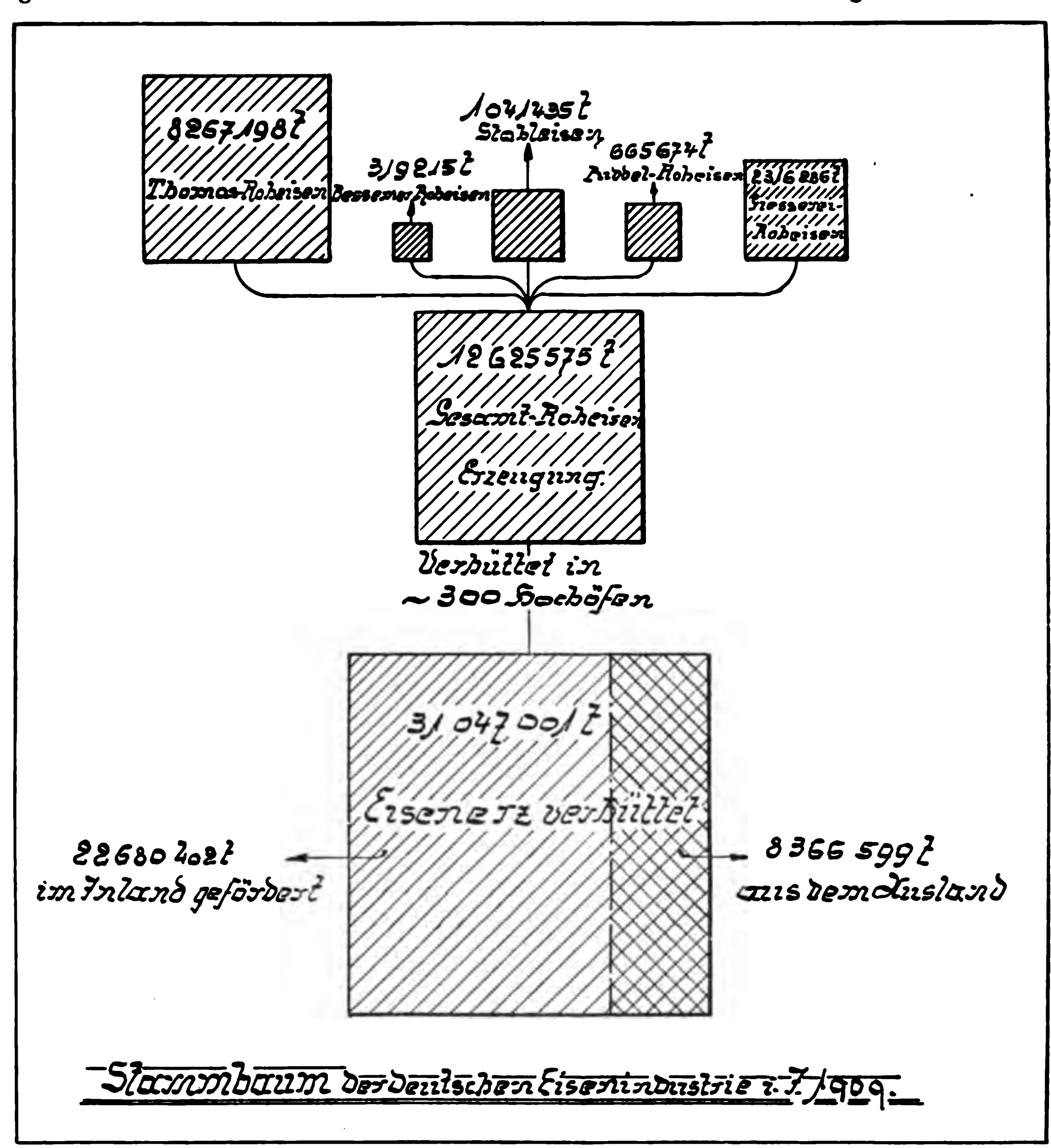


Schaubild Nr. 4. Stammbaum der deutschen Eisenindustrie.

Einführung bestimmter Mengen von Verbrennungsluft in den unteren Teil des Ofens. Während in früheren Zeiten ein Hochofen täglich nur einige 100 kg Eisen erschmolz, sind die Dimensionen der Öfen im 19. und 20. Jahrhundert derart vergrößert worden, daß es in der Gegenwart Hochöfen gibt, die innerhalb von 24 Stunden 5—600000 kg Roheisen liefern. Die durchschnittliche tägliche Produktion aller in Deutschland in Betrieb befindlichen Öfen dürfte zurzeit, auf den einzelnen Ofen berechnet, 150- bis

180000 kg betragen. Diese Mengen von Roheisen werden dargestellt aus 4- bis 500000 kg zu verschmelzender Materialien unter Aufwand von etwa ebensoviel Kilogramm an Koks, als der Ofen Roheisen liefert.

Wenn daher in früheren Zeiten dem Hochofen das erforderliche Material durch Handarbeit oder unter Zuhilfenahme allereinfachster mechanischer Transportmittel zugeführt werden konnte, so besteht in der Gegenwart die Aufgabe der Betriebsleitung in hervorragendem Maße darin, neben der Überwachung des eigentlichen Ofenbetriebes für die regelmäßige Zu- und Abführung der gewaltigen Materialmengen zu sorgen,



Abbildung 1. Friedrich-Alfred-Hütte der Firma Krupp in Rheinhausen: Hochofenanlage mit Hafen.

die in diesem Ofen verarbeitet werden. Diese Aufgabe wächst zu einer Transportfrage allerersten Ranges an, wenn auf demselben Werke eine größere Zahl von Hochöfen vereinigt und täglich Roheisenmengen von 1—1½ Millionen kg erzeugt werden, welche Leistung tatsächlich nicht mehr vereinzelt dasteht.

Während früher ein Hochofen eine Höhe von 5—6 m besaß, ist heute eine solche von 30 m nicht außergewöhnlich, und während früher der Hochofen mit allereinfachsten Gebläseeinrichtungen innerhalb eines kleinen Häuschens Platz fand, beansprucht heute ein Hochofen mit den zugehörigen Betriebseinrichtungen etwa die Bodenfläche eines Marktplatzes einer größeren deutschen Stadt.

Eine annähernde Vorstellung von der Größe heutiger Hochofenanlagen und der Vielgestaltigkeit der Apparate, welche auf denselben Anwendung finden, gewährt vielleicht die Betrachtung der hier eingefügten Ansichten einiger dieser Anlagen.



Abbildung 2. Gutehoffnungshütte in Oberhausen: Ältere Hochofenanlage.

Der Hochofen selbst tritt auf diesen Abbildungen im allgemeinen wenig in Erscheinung, da derselbe dem Auge verdeckt wird durch mächtige Eisenkonstruktionen, die die Aufgabe haben, die „Gichtbühne" zu tragen, d. h. am oberen Ende des Hochofens, also etwa 30 m über dem Erdboden, die Errichtung eines Arbeitsraumes zu ermöglichen, innerhalb dessen diejenigen Materialien, welche leistungsfähige Aufzüge auf die Höhe des Ofens hinauffördern, diesem zugeführt werden können. Erze und

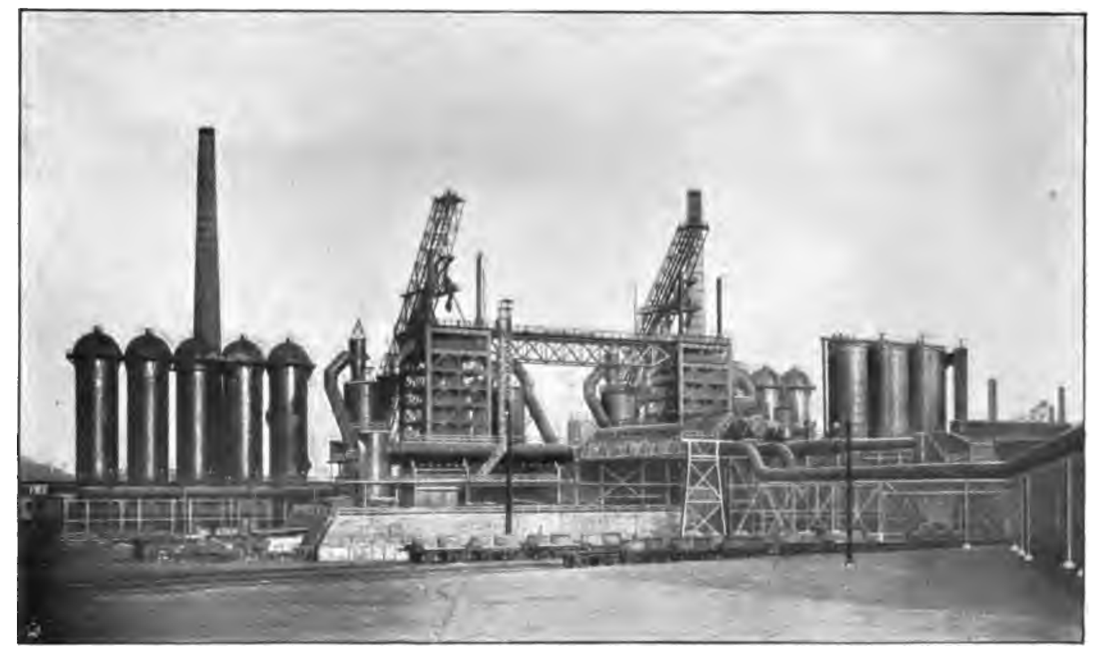


Abbildung 3. Gutehoffnungshütte in Oberhausen: Neueste Hochöfen.

Koks werden in die Hochöfen in abwechselnden Schichten eingefüllt, und man nennt diejenige Menge des Materials, welche eine solche Schicht bildet, eine „Gicht" und die Tätigkeit der Materialzuführung die „Begichtung" des Ofens.

Während in früheren Zeiten die Hochöfen oben an der Gichtbühne offen waren und daher die aus den Öfen aufsteigenden, infolge ihres Gehalts an Kohlenoxyd brennbaren Gase in gewaltigen Flammen weithin leuchtend aus den Öfen herausbrannten, wird in der Gegenwart der Hochofen sorgfältig geschlossen, und die Gase werden einer nutzbringenden Verwendung zugeführt. Es ist eine fernere Aufgabe der Gichtbühne, das sehr erhebliche Gewicht dieser Verschlußeinrichtungen der Öfen, der Gasableitungsrohre usw. zu tragen.

Auf einigen Abbildungen treten aber noch viel deutlicher in die Augen springende große zylindrische Bauten neben den Öfen in die Erscheinung, die oben mit einer rundlichen Kuppel abgeschlossen zu sein pflegen, und denen man schon auf diesen Abbildungen ansieht, daß sie außen mit einer dicht schließenden eisernen Umhüllung versehen sind. Es ist üblich, für jeden Hochofen 3—5 solcher Apparate zur Aufstellung zu bringen, und deren Aufgabe ist es, den für den Betrieb des Hochofens bestimmten Wind auf die relativ hohe Temperatur von 8-—900° C, also etwa bis zu heller Rotglut, zu erwärmen. Die für diese Erwärmung des Windes erforderlichen Wärmemengen liefern die Gichtgase des Hochofens, die in früheren Zeiten ungenutzt an der Gichtbühne verbrannten. Die Erwärmung des Windes geschieht dadurch, daß man Mauerwerk aus feuerfesten Steinen, welches sich innerhalb der Winderhitzer —

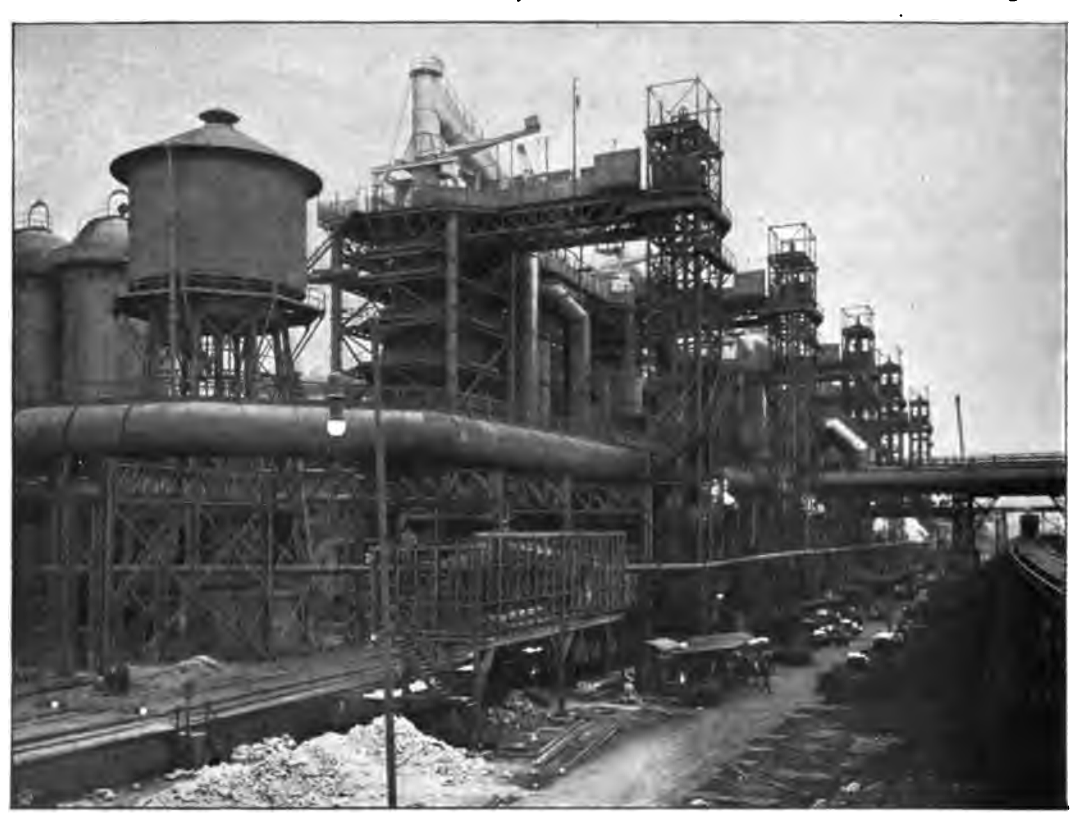


Abbildung 4. Gewerkschaft Deutscher Kaiser in Bruckhausen a. Rh.: Hochofenanlage.



Abbildung 5. Gewerkschaft Deutscher Kaiser in Bruckhausen a. Rh.: Ansicht der zu den Hochöfen gehörigen Koksöfen.

der Cowper-Apparate — befindet, durch die heizende Wirkung brennenden Gichtgases möglichst hoch erwärmt, und wenn diese Erwärmung den gewünschten Grad erreicht hat, nun nach Abschaltung des Gichtgases den von der Gebläsemaschine kommenden kalten Wind in umgekehrter Strömungsrichtung durch den Cowper-Apparat hindurchströmen läßt.

Da die abkühlende Wirkung des kalten Windes sich energischer bemerkbar macht als die heizende Wirkung des Gichtgases, so muß ein Cowper-Apparat etwa zwei- bis dreimal solange geheizt werden, als er selbst wieder erwärmend auf den Wind einwirken kann. Deshalb und mit Rücksicht auf die von Zeit zu Zeit eintretenden Reparaturbedürfnisse der Cowper-Apparate ist es erforderlich, eine größere Zahl derselben für jeden Hochofen zur Verfügung zu halten.

Obgleich die Beschaffung dieser Apparate außerordentlich hohe Ausgaben erfordert — pro Apparat etwa 80000 Mark —, so ist die Wirkung der Erwärmung des Gebläsewindes auf die Verminderung des Koksverbrauches des Hochofens eine so große, daß die Anwendung dieser Apparate sich in ganz kurzer Zeit bezahlt macht.

Auf mehreren der Abbildungen sind große Mengen von Koks oder Vorräte von angehäuften Erzen in der Nähe der Öfen gelagert. Da der Hochofenbetrieb jahraus, jahrein ununterbrochen durchgeführt werden muß, wenn er überhaupt durchführbar sein soll, ist es unbedingt erforderlich, größere Mengen der Materialien, die der Hoch-

ofen verbraucht, auf dem betreffenden Werke vorrätig zu halten, um den Betrieb von etwaigen Störungen in der Zuführung derselben unabhängig zu machen.

Wollte man diese großen Vorratsmengen lediglich von Eisenbahnwagen auf irgendeinen Platz von entsprechender Ausdehnung abstürzen und dann von Hand wieder aufladen, so würde diese rein mechanische Aufladetätigkeit die Beschäftigung sehr vieler Menschen erfordern, die eine Arbeit zu leisten hätten, die der menschlichen Intelligenz kaum bedürfte, die dem betreffenden Werk aber doch viel Geld kosten würde.

Es wird deshalb in neuerer Zeit allgemein die Lagerung dieser vorrätigen Mengen in besonderen Erz- und Kokstaschenbehältern vorgenommen, in die das Material vom Eisenbahnwagen, der auf Hochbahngeleisen über diese Behälter hinweggeführt wird, hineingestürzt wird, und aus denen sie durch Lüftung irgendwelcher Taschenverschlüsse wieder in Wagen eingefüllt werden können, die unter den Erztaschen herfahren und diese Materialien dann der Gichtbühne wieder zuführen.

Nach alledem wird es begreiflich erscheinen, wenn der Grundriß eines Hochofenwerkes, wie ihn beispielsweise Abbildung 12 S. 143 zeigt, in erster Linie eine außerordentlich große Anzahl von Eisenbahngeleisen aufweist, auf denen die zu verarbeitenden Materialien den Vorratstaschen oder den Gichtaufzügen direkt zugeführt werden und auf denen das erzeugte Material, sowohl Roheisen als Schlacke, wieder vom Hochofen weggeführt werden kann.

Die Gase der Hochöfen dienen, wie bereits erwähnt, zum Teil zur Erhitzung des Gebläsewindes, und zwar wird hierfür etwa die Hälfte der Gase verbraucht, die der



Abbildung 6. Ilseder Hütte in Gr.-Ilsede bei Peine: Hochofenanlage.



Abbildung 7. Deutsch-Luxemburgische Bergwerks- und Hütten-Aktien-Gesellschaft Differdingen: Ansicht der Hochöfen von der Abstichseite.

Hochofen liefert, zum anderen Teil werden die Gase weiteren Verwendungszwecken in Rohrleitungen von entsprechender Größe zugeführt. Die Gasmenge, die ein moderner Hochofen liefert, ist von gewaltiger Größe, und zwar entströmen der Gicht des Hochofens etwa pro kg im Hochofen verarbeiteten Koks 4½ cbm Gas. Wenn wir uns vergegenwärtigen, daß ein Hochofen mittlerer Produktion täglich etwa 200000 kg Koks verbraucht, und daß hieraus dann 900000 cbm Gas entwickelt werden, so gibt diese Zahl wiederum eine Vorstellung von der überwältigenden Größe der modernen Hochofenanlagen.

Zur Erzeugung eines so großen Gasquantums ist natürlich auch die Einführung einer entsprechend großen Windmenge in den Hochofen erforderlich, und die Notwendigkeit, diese zu beschaffen, ist es, welche die Hochofenwerke zur Anlegung von Gebläsemaschinen zwingt, deren konstruktive Ausbildung schon vom Beginn der Entwicklung des modernen Hochofenbetriebes an eine höchst interessante Aufgabe des Hüttenmaschinenbaues gewesen ist. Bis gegen Ende des 19. Jahrhunderts wurden für diesen Zweck ausschließlich Dampfmaschinen verwendet, und der für den Betrieb dieser Maschinen erforderliche Dampf wurde erzeugt in großen Batterien von Dampfkesseln, die wiederum durch die Hochofengase geheizt wurden. Für diesen Zweck verbrauchten die Hochofenwerke annähernd vollständig die zweite Hälfte der von den Hochöfen gelieferten Gichtgase.

Diese Gase enthalten nun nicht nur die durch die Vergasung von Koks entstandenen brennbaren Produkte sowie den Stickstoff des in den Hochofen eingeführten Ge-

bläsewindes, sondern auch erhebliche Mengen von Wasserdampf und Staub, der sowohl auf mechanischem Wege durch Fortführung eines Teils der Beschickung als auch auf chemischem Wege infolge gewisser unvermeidlicher chemischer Reaktionen entstanden ist. Der erste Anteil des Staubes ist ziemlich grobkörnig und daher durch einfache Reinigung der Gase, indem man ihm in Rohrleitungserweiterungen Zeit zum Absetzen gewährt, zum größten Teil aus ihnen zu entfernen. Der aus der zweiten Quelle stammende Staub ist dagegen so außerordentlich fein verteilt, daß er sowohl mit in die Winderhitzer geführt wird, dort im Laufe der Zeit die Oberfläche der Steine mit einer dicken Staubschicht bedeckt und deren Wirksamkeit vermindert, als auch sich auf die Heizfläche der Dampfkessel absetzt und so zur Vornahme umständlicher Reinigungsoperationen zwingt.

Gegen Ende des 19. Jahrhunderts hatte der Bau von Gaskraftmaschinen eine solche Höhe der Entwicklung erreicht, daß daran gedacht werden konnte, sie im Hüttenbetrieb an Stelle der Dampfmaschinen treten zu lassen. Der Anreiz hierzu war beträchtlich, da bei Verwendung der Heizgase unter den Dampfkesseln und Ausnutzung des erzeugten Dampfes in der Dampfmaschine die Erzeugung einer Stunden-Pferdekraft die Aufwendung von ca. 12,5 cbm Gichtgas erforderte, während für die Umwandlung der im Gichtgas enthaltenen Wärme in Arbeit auf dem Wege der Ausnutzung der Gichtgase in Gasmaschinen für die Erzielung einer Pferdekraftstunde nur ca. 3,5 cbm Gichtgas erforderlich sind. Die Dampfmaschine der Hochofenbetriebe verbrauchte also ca. 3,6 mal so viel Gas für dieselbe Leistung als die Gaskraftmaschine. In dem Augenblicke, in dem es möglich war, den Kraftbedarf der Hochofenwerke durch Verwendung der Hochofengichtgase in Gaskraftmaschinen zu decken, erwuchs ihnen aus den Gichtgasen eine sehr



Abbildung 8. Deutsch-Luxemburgische Bergwerks- und Hütten-Aktien-Gesellschaft Differdingen: Ansicht der Hochöfen von der Kopfseite.

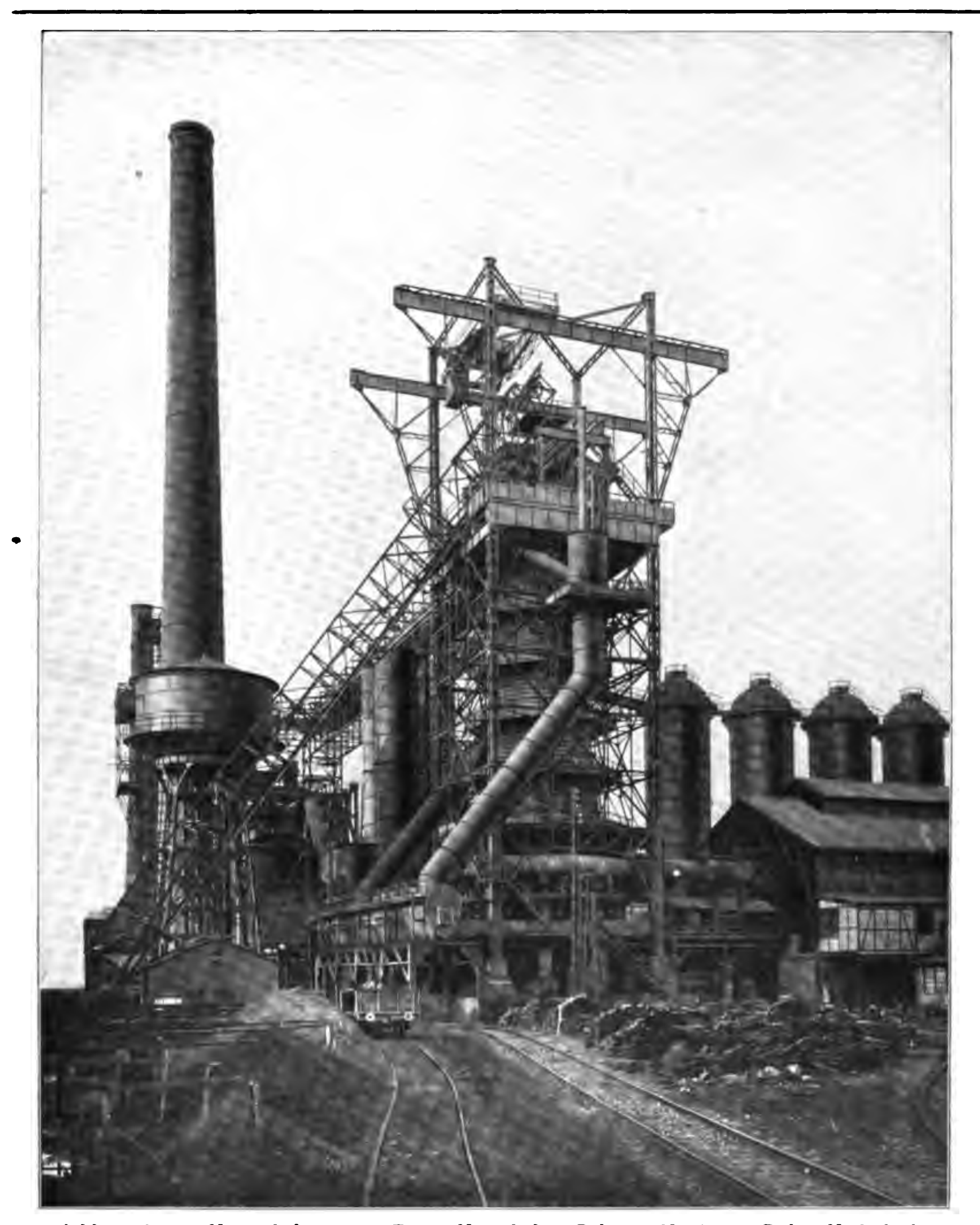


Abbildung 9. Heinrichshütte der Firma Henschel & Sohn in Hattingen-Ruhr: Hochofenlage.

beträchtliche Kraftquelle, die anderer nutzbringender Verwendung zugeführt werden konnte.

Wie groß der Wert dieser Arbeitsmenge ist, mag wieder aus dem bereits herangezogenen Beispiel des Hochofens, der täglich 200000 kg Koks verbraucht, entnommen werden.

Der Hochofen liefert, wie erwähnt wurde, täglich etwa 900000 cbm Gas. Diese Gase werden annähernd laut folgender Zusammenstellung verbraucht:

Verwendung der Hochofengase

a) bei Dampfbetrieb:		b) bei Gasmaschinenbetrieb:	
Verluste beim Gichten usw. . . .	10 %	Verluste usw.	10 %
Für Winderhitzer rund	50 %	Winderhitzer	50 %
Eigener Kraftbedarf des Hochofenwerkes für Winderzeug. usw. ca.	40 %	Für eigenen Bedarf . . . $\frac{40}{3,6}$ =	11 %
	100 %	Für andere Zwecke frei	29 %
			100 %

Demnach für andere Zwecke frei $0,29 \cdot 900000 = 261000$ cbm Gas oder $\frac{261000}{3,5 \cdot 24}$ = 3100 Pferdestärken.

In dieser besseren Ausnutzung der Gichtgase haben wir den jüngsten epochemachenden Fortschritt in der Hochofenindustrie zu erblicken. Ehe derselbe indessen allgemein zur Anwendung gelangen konnte, mußte eine außerordentlich mühevolle Arbeit geleistet und viele Erfahrungen gesammelt werden, für die die Hochofenwerke Lehrgeld in sehr beträchtlicher Höhe aufzuwenden gezwungen waren. Es mußte die Reinigung der Gichtgase von Staub so vollkommen durchgeführt werden, daß die empfindlichen Teile der Gasmaschinen im Dauerbetrieb mit diesem Gas in Berührung treten konnten, ohne bei der starken Beanspruchung, der sie ausgesetzt sind, Schaden zu leiden.



Abbildung 10. Aktien-Gesellschaft Phönix, Abt. Hörder Verein in Hörde (Westf.): Einzelner Hochofen.

Die Gichtgase enthalten, wenn sie dem Hochofen entströmen, im cbm meist mehr als 30—50 g Staub. Dieser Staubgehalt muß bis auf 0,02—0,03 g pro cbm entfernt werden, wenn die Gase für die Verwendung in Gaskraftmaschinen geeignet sein sollen. Dieser Reinheitsgrad ist ein sehr hoher, da meistens die Außenluft der Hüttenwerke einen höheren Staubgehalt aufweist.

Es kann nicht wundernehmen, wenn berichtet werden muß, daß zur Erreichung dieses Zieles eine Reihe ganz verschiedener Wege eingeschlagen worden sind, und daß tatsächlich viele derselben auch wirklich zur Lösung der Aufgabe geführt

haben. Eine dauernde und allgemeine Anwendung wird sich indessen nur dasjenige System erringen können, welches unter Inanspruchnahme der geringsten Mengen an Kraft, Kühlwasser, Platz, Anlage- und Unterhaltungskosten imstande ist, im Dauerbetriebe befriedigende Resultate zu gewähren. In diesen Beziehungen haben bis zum heutigen Tage die Versuche zu einem endgültigen Ergebnis nicht geführt; indessen lassen sich bereits gewisse allgemeine Gesichtspunkte hervorheben, die übereinstimmend in den besten Anordnungen zur Anwendung gelangen.

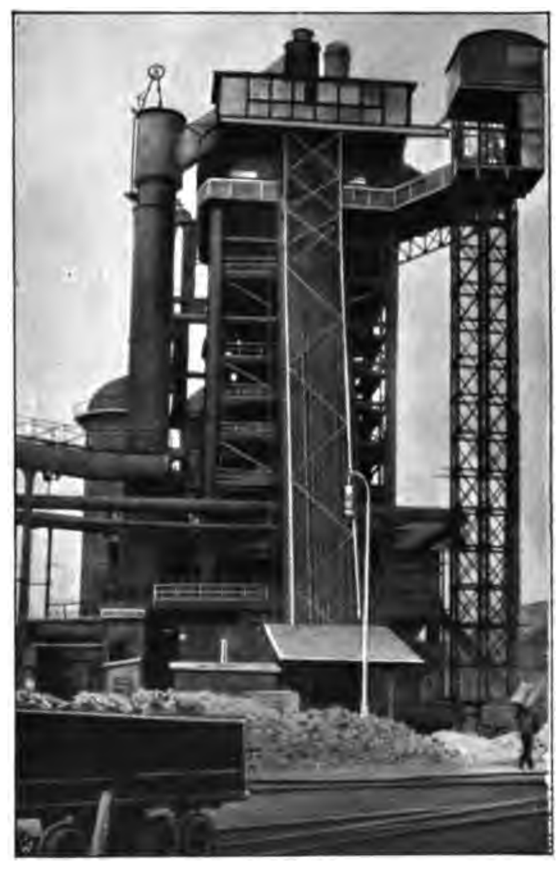


Abbildung 11. Oberschles. Eisenbahnbedarfs-Akt.-Ges. in Friedenshütte, O.-S.: Einzelner Hochofen.

Man hat allgemein erkannt, daß die Gase von dem groben Flugstaub sich am günstigsten automatisch befreien, wenn man ihnen in Räumen von genügender Größe Gelegenheit gibt, sich in geringer Geschwindigkeit zu bewegen, und das Fallenlassen von Staub scheint dann am vollkommensten sich zu vollziehen, wenn die Gase in dünnen Schichten langsam in horizontaler Richtung zu strömen gezwungen werden. Man kann so zu einer ziemlich vollkommenen Abscheidung des groben Gichtstaubes gelangen, der infolge seines relativ hohen Eisengehaltes ein wertvolles Material darstellt, das nach Überführung in feste Form — durch Brikettierung — wieder dem Hochofen zugeführt werden kann. Es gibt Hochofenwerke, die an solchem Material täglich 200000 kg und mehr gewinnen. In fast allen Fällen wird diese Abscheidung des Staubes ohne Anwendung von Kühlwasser ausgeführt, der Staub also in trockenem Zustande erhalten. Der feinere Gichtstaub, der nach dieser Vorreinigung in dem Gase noch schwebend verbleibt, pflegt weniger eisenhaltig und deshalb weniger wertvoll zu sein. Er ist aber heute noch ein recht lästiges Abfallprodukt und wird fast überall unter Anwendung der nassen Gasreinigung aus den Gasen entfernt. Es ist bemerkenswert, daß diese nasse Reinigung nur dann erfolgreich durchgeführt werden kann, wenn die zur Reinigung verwendeten Wassermengen in so reichlichem Maße und in möglichst feiner Verteilung angewendet werden, daß zunächst durch dieselben die Temperatur der Gichtgase, die beim Verlassen der Gicht etwa 100 bis 400° C beträgt, auf etwa 25° herabgedrückt wird. Daraus geht hervor, daß die anzuwendenden Kühlwassermengen recht beträchtliche sind, und da diese Kühlwasser den Staub in höchst feiner Verteilung enthalten, ist es unzulässig, dieselben ohne weiteres in öffentliche Flußläufe und dergleichen eintreten zu lassen. Die Anwendung der nassen Reinigung zwingt die Hochofenwerke dazu, umfängliche Kläranlagen einzurichten, die dann gleichzeitig der Rückkühlung des Wassers zu dienen haben, um dasselbe Wasser, wenn erforderlich, wieder zur Reinigung verwenden zu können.

Befindet sich ein Hochofenwerk, welches an und für sich zur Kühlung hoch beanspruchter Ofenteile sehr erhebliche Wassermengen verbraucht, in der glücklichen Lage, dieses Wasser mit nicht allzu hohen Kosten beschaffen zu können, so ergibt sich ein Betriebszustand, der zwar hohe Unkosten bedingt, aber immerhin als erträglich bezeichnet werden kann.

Leidet das Hochofenwerk dagegen an und für sich schon unter Wassermangel für die Kühlung seiner Öfen, so wird die Durchführung einer ökonomisch brauchbaren Reinigung der Gichtgase leicht zu einer unlösbaren Aufgabe anwachsen.

Es besteht indessen die Aussicht, daß ein neuestes Verfahren hier Abhilfe bringen kann, welches auf den Erfahrungen aufgebaut ist, die man bei der Entstaubung von Getreidemahlmühlen usw. gesammelt hat, und den Staub aus den Gasen dadurch entfernt, daß dieselben durch Baumwollgewebe hindurchgepreßt — filtriert — werden.

Beide Arten der Reinigung, das Filtrieren sowohl wie das intensive Waschen der Gase durch zerstäubtes Wasser, erfordern aber den Aufwand beträchtlicher Mengen von Kraft, da die gewaltigen Mengen der Gase durch Ventilatoren oder ähnliche Apparate angesaugt und transportiert werden müssen.

Auf diesem Gebiete befinden wir uns also mitten in einer interessanten Entwicklung.

Durch die Ausnutzung der Gichtgase in Großgasmotoren sind die Hochofenwerke nun im Laufe der letzten Jahrzehnte zu Kraftquellen allerersten Ranges geworden, und es wird so möglich, entweder die kraftverzehrenden Hüttenbetriebe, die Walzwerke usw. mit Kraft zu versorgen oder diese Energiemengen, indem sie in hochgespannten elektrischen Strom umgewandelt werden, weit fortzuleiten und sie entweder zur Beleuchtung oder zur Kraftversorgung von Städten zu verwenden.

Diese neueste Entwicklung hat auf andere Industrien eine einschneidende, umgestaltende Wirkung ausgeübt. Während früher Hunderte von Dampfkesseln auf den Hüttenwerken unter Anwendung von Kohle geheizt werden mußten, um die für das Werk erforderlichen Dampfmaschinen betreiben zu können, sind diese Batterien von Dampfkesseln nach und nach außer Betrieb gekommen und abgebrochen worden. Es sind Unmengen von Dampfkesseln ins alte Eisen gewandert. Die Kesselschmieden, die früher in der Herstellung von Dampfkesseln lohnende Arbeit fanden, sind vielfältig zum Erliegen gekommen. Die Dampfmaschinenfabriken, die gewohnt waren, für die Hüttenindustrie zu arbeiten, mußten ihren Betrieb ändern und zur Erzeugung von Großgasmotoren übergehen oder sich der Herstellung anderer Spezialitäten widmen.

Die oben geschilderte Ausbildung der Gaswirtschaft auf den Hochofenwerken hat auch auf dem Gebiete eines Nebenbetriebes der Hochofenwerke in den letzten Jahren viele einschneidende Umänderungen bewirkt. Unsere Hochofenwerke liegen nur zum Teil in der Nähe der Erzfelder. Vielleicht mehr als die Hälfte derselben befindet sich infolge der historischen Entwicklung des Hochofenbetriebes in der Nähe von Kohlengruben, und diese Hochofenwerke beziehen überwiegend die Kohlen, aus denen jetzt der zum Betrieb erforderliche Koks erzeugt wird, von den Gruben und führen die Verkokung der Kohlen selbst durch.

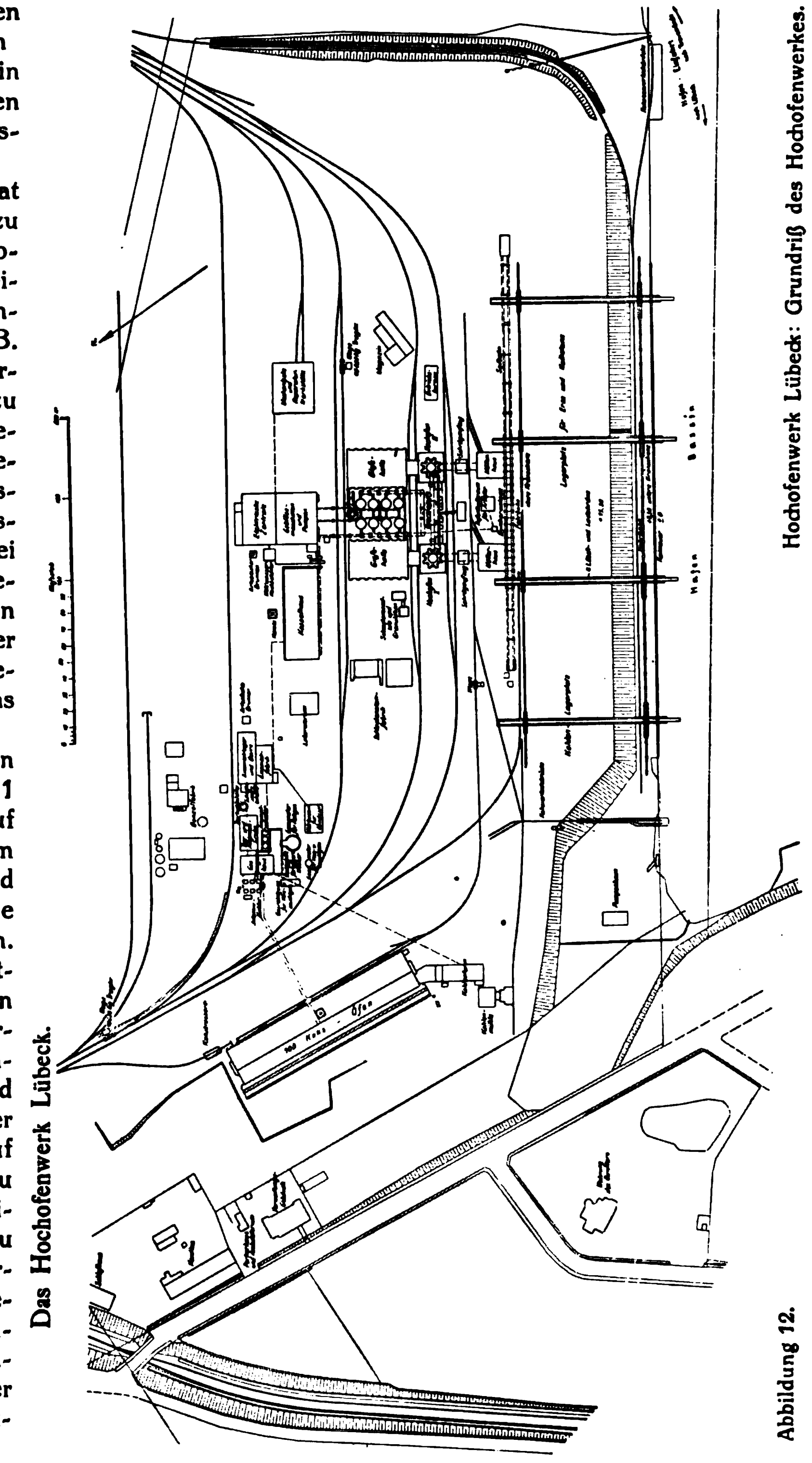
Die Erkenntnis von der Ausnutzbarkeit der in den brennbaren Gasen enthaltenen Energiemengen auf dem Wege der Umwandlung derselben in elektrische Kraft hat dazu geführt, die Koksofenanlagen im Laufe der Jahre in immer steigendem Maße in der Richtung auszubilden, daß ein möglichst großer Gasüberschuß bei der Verkokung der Kohlen erreicht wird. Auch diese Gase können in Großgasmotoren ausgenutzt werden. Sie unterscheiden sich aber in ihrer chemischen Zusammensetzung

wesentlich von den Hochofengichtgasen und gleichen hierin fast den Leuchtgasen der städtischen Gasanstalten.

Diese Tatsache hat in neuester Zeit dazu geführt, daß von großen Städten des rheinisch-westfälischen Industriereviers, z. B. Essen, Bochum, Elberfeld, mit in nicht allzu großer Entfernung befindlichen Kokereibetrieben Gaslieferungsverträge abgeschlossen worden sind, bei welchen sich die Kokereien verpflichten, den Leuchtgasbedarf der Städte durch Lieferung von Koksofengas zu befriedigen.

Die Stadt Essen hat für das Jahr 1911 Lieferungsverträge auf 12½ Millionen cbm Gas abgeschlossen und wird die Städtische Gasanstalt stillstellen.

Diejenigen Hüttenwerke, welche in beträchtlicher Entfernung von Kohlengruben errichtet sind und nicht etwa in der Lage sind, Kohlen auf dem Wasserwege zu außerordentlich billigen Frachtsätzen zu beziehen, sind naturgemäß darauf angewiesen, das Brennmaterial dem Hochofenbetriebe in der Form von Koks zu-



Das Hochofenwerk Lübeck.

Abbildung 12. Hochofenwerk Lübeck: Grundriß des Hochofenwerkes.

zuführen, und müssen deshalb auf die Vorteile der Ausnutzung von Koksofengasen verzichten.

Der Hochofenprozeß, der in dem Verlauf der vorangegangenen Schilderung recht einfach erscheint, ist dies keineswegs, sondern stellt von allen hüttenmännischen Prozessen an die Betriebsleitung wohl die höchsten Anforderungen.

Der Betriebsleiter steht zunächst der Aufgabe gegenüber, den Ofen zum Zwecke des Erblasens einer bestimmten Eisensorte in möglichst regelmäßigem Gange zu erhalten, denn jede Veränderung in irgendeiner der zahlreichen Betriebsbedingungen äußert ihren Einfluß auf die chemische Zusammensetzung des erhaltenen Produktes. Es würde, um den Ofen in unverändertem Gange zu erhalten, erforderlich sein, daß andauernd ein vollständiges Gleichgewicht herrscht zwischen Wärmeerzeugung und Wärmeverbrauch.

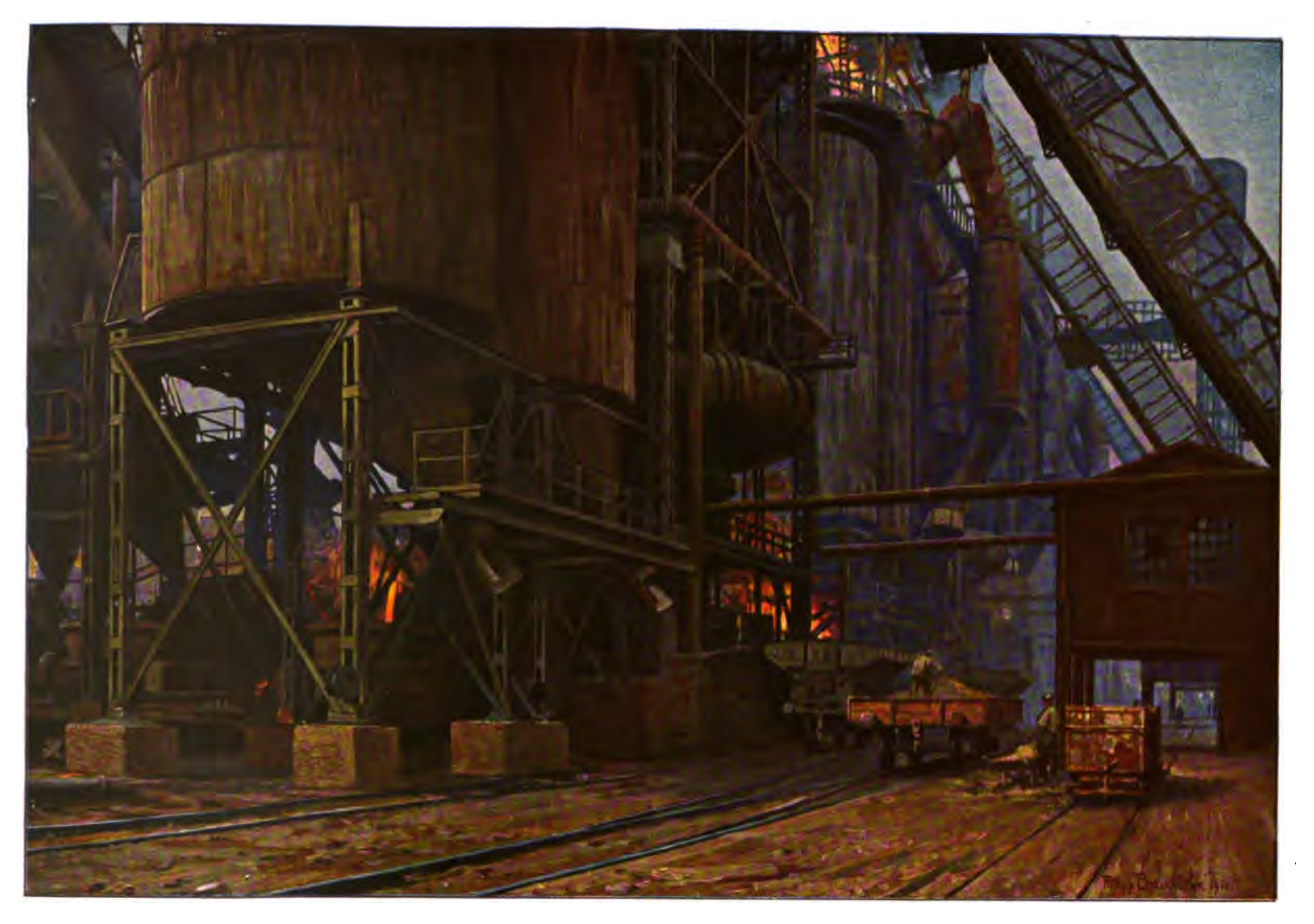
Die Menge der zur Verfügung stehenden Wärme ist abhängig von der Menge des in der Zeiteinheit in dem Ofen verbrannten Kokses und von der Höhe der Temperatur des in den Ofen eingeführten Gebläsewindes, während die vorhandene Wärme verbraucht wird zur Anwärmung der in die Ofengicht eingefüllten Materialien, zur Verdampfung des in denselben enthaltenen Wassers, zur Reduktion der Eisenoxyde zu metallischem Eisen und zur Schmelzung resp. Vergasung der in den Ofen eingeführten Stoffe. Ferner geht unvermeidlich ein nicht unbeträchtlicher Anteil der vorhandenen Wärme an die Umgebung verloren.

Da es nun niemals erreichbar ist, alle die hier einflußnehmenden verschiedenen Faktoren unverändert zu erhalten, so ist es naturgemäß direkt unmöglich, einen Hochofen andauernd in vollkommen unverändertem Betriebe arbeiten zu lassen.

Der Betriebsleiter ist stets nur in der Lage, durch sorgfältigste Überwachung des Ofenganges die unerwünscht sich einstellenden Abweichungen von dem normalen Gange möglichst rasch wieder durch eine geeignete Betriebsmaßnahme zu korrigieren und so den Gang des Hochofens mit unvermeidlichen Abweichungen nach oben oder unten möglichst annähernd in demjenigen Betriebszustande zu erhalten, der ihm erfahrungsgemäß Eisen der gewünschten Zusammensetzung liefert.

Wird in der Zeiteinheit mehr Wärme erzeugt als konsumiert wird, so steigt naturgemäß die Temperatur im Ofeninnern. Der Ofen bekommt „heißeren Gang", wie in der üblichen Betriebssprache diese Veränderung bezeichnet wird. Wird dagegen mehr Wärme verbraucht als in der Zeiteinheit erzeugt wird, so sinkt die Temperatur des Ofens, und es resultiert ein „kälterer Ofengang"; beide Abweichungen ergeben eine sehr veränderte chemische Zusammensetzung des Eisens.

Die Betriebskontrolle würde sich relativ einfach gestalten, wenn es möglich wäre, die Temperaturschwankungen, die sich im Ofeninnern ausbilden, zu messen und etwa auf irgendwelche registrierende Instrumente zu übertragen. Abgesehen davon, daß ein Material nicht existiert, welches in den Ofen eingeführt und in ihm unverändert erhalten werden könnte, ist auch die Temperaturverteilung im Ofeninnern an keiner Stelle durch den ganzen Querschnitt des Ofens hindurch gleichmäßig, so daß etwaige Temperaturanzeigen, die von einer Stelle entnommen würden, für den übrigen Ofeninhalt keineswegs maßgebend wären. Es bleibt deshalb nur übrig, aus allgemeinen hüttenmännischen Kennzeichen heraus den Gang des Ofens zu beurteilen. Als solche dienen in erster Linie das Aussehen und die chemische Beschaffenheit von Eisen und Schlacke. Aus dieser Beschaffenheit der beiden Produkte kann man naturgemäß immer nur rückschließend denjenigen Betriebszustand erkennen, der zu der Zeit im Ofen geherrscht hat, als dieses Eisen und diese Schlacke erzeugt worden sind. Er-



Hochofenwerk der Friedrich-Alfred-Hütte in Rheinhausen.

Zu Mathesius: Erzeugung von Eisen aus Eisenerzen und seine Umwandlung zu schmiedbarem Eisen, Stahl oder Gießereierzeugnissen.

schwerend tritt ferner der Umstand in Betracht, daß etwaige Einwirkungen auf den Ofengang, die als notwendig erkannt worden sind, durch eine Veränderung im relativen Mengenverhältnis zwischen Brennstoff und zu verschmelzendem Material nur oben an der Gicht beim Einfüllen der Materialien ausgeübt werden, daß deren Einwirkung also immer erst dann sich geltend machen kann, wenn diese Materialien in den Herd — „das Gestell" — des Ofens gelangt sind, also erst nach einem Zeitraum von 12—20 Stunden.

Man nennt die Zeit, welche ein Material braucht, um von der Gicht des Hochofens bis in die Schmelzzone zu gelangen, die Durchsatzzeit. Diese Zeit wird verkürzt, wenn der Ofengang beschleunigt wird, verlängert, wenn eine Verzögerung ausgeübt wird. Eine Einwirkung in dieser Hinsicht kann der Betriebsleiter dadurch geltend machen, daß er die Windmenge verändert, welche er dem Ofen in der Zeiteinheit zuströmen läßt. Da aber naturgemäß der Ofen dann am vorteilhaftesten arbeitet, wenn er im Tage ein möglichst großes Quantum Eisen der vorgeschriebenen Zusammensetzung erzeugt, so wird das Betriebsinteresse in normalen Zeiten erfordern, daß die Durchsatzzeit so kurz wie möglich gewählt wird. Zu einer Beschränkung der in den Ofen einzublasenden Windmenge wird der Betriebsleiter daher nur höchst ungern schreiten. Eine Vermehrung über das der betreffenden Ofengröße und Konstruktion günstigste Maß hinaus führt gewöhnlich zu Störungen im Ofengange, die erst im Verlauf mehrerer Tage mühevoll wieder beseitigt werden können.

Die eben geschilderten Betriebsverhältnisse bestehen, wenn der Ofen sich in durchaus regelmäßigem Betriebe befindet. Da aber das Herniedersinken der Massen im Ofen sich unabhängig von dem direkten Einflusse der Betriebsleitung vollzieht, so wird es nicht verwunderlich erscheinen, wenn konstatiert werden muß, daß dieser Vorgang in dem großen Ofenraum von 500—800 oder mehr cbm niemals gleichmäßig vor sich geht, sondern bald an der einen oder andern Seite am Umfang oder in der Mitte des Ofens ein Voreilen oder Zurückbleiben von Schichten eintritt, so daß sich leider häufig vollständige Stockungen im Herniedersinken der Massen ausbilden und Ansätze entstehen, die wochen- oder monatelang erhalten bleiben und zu den schwersten Betriebsstörungen Veranlassung geben.

Die Tagesleistung eines Ofens hängt einerseits ab von seinem Volumeninhalt und der Durchsatzzeit und anderseits von dem Ausbringen, das der jeweils verschmolzene Möller gewährt. Man versteht unter „Ausbringen" diejenige Menge an Eisen, die je nach dem Gehalt der Erze aus einer bestimmten Menge des in den Ofen eingeführten Materials erschmolzen werden kann, und man bezeichnet mit „Möller" die gesamte Menge derjenigen Materialien, die in gewissen Zeitabschnitten dem Ofen zugeführt werden. Je mehr Eisen der Möller enthält, um so höher wird das Ausbringen sein, um so mehr kann auch ein und derselbe Ofen in seiner Tagesproduktion Eisen liefern. Der Idealzustand würde also vorhanden sein, wenn man in dem Ofen reines Eisenoxyd ohne irgendwelche anderen Bestandteile mit Koks verschmelzen könnte. Ein solcher Betrieb ist aber nicht möglich, weil einerseits derartige Erze nicht existieren und anderseits das Eisen dann eine Zusammensetzung gewinnen würde, die es späterhin für weitere Hüttenprozesse unverarbeitbar erscheinen lassen würde. Je niedriger sich das Ausbringen gestaltet, um so niedriger wird natürlich auch die Tagesproduktion des Ofens an Eisen. Dieser Umstand ist es, der für die Hüttenwerke eine untere Grenze festsetzt, bis zu welcher der Eisengehalt der Erze sinken darf, um eben noch einen ökonomischen Betriebsgang zu ermöglichen.

Für deutsche Verhältnisse liegt diese Grenze etwa bei einem Eisengehalt des Erzes von 30%. Sind die Erze ärmer an Eisen, so wächst die unvermeidlich im Ofen zu

verschmelzende Schlackenmenge derart, daß eine ökonomisch günstige Durchführung des Hochofenprozeßes nicht mehr möglich erscheint. Hierin liegt die Ursache, daß gewaltige Mengen von Eisenerz, die bekannt und vielleicht leicht zu gewinnen sind, zurzeit mit einem relativ günstigen Resultat im Hochofen nicht verarbeitet werden können.

Der Hochofenbetrieb ist nun verhältnismäßig leicht dort durchzuführen, wo jahraus, jahrein dieselben Erze verarbeitet werden und wo stets dasselbe Eisen erzeugt werden soll. Die Schwierigkeiten wachsen sehr erheblich, wenn aus häufig wechselnden Eisenerzlieferungen Eisen erblasen werden soll, und sie steigen auf den höchsten Grad, wenn von der Betriebsleitung öfter eine Änderung des Ofenganges in dem Sinne gefordert wird, daß andere Eisenqualitäten geliefert werden sollen.

All diesen Verhältnissen muß der Betriebsleiter gerecht werden durch eine sorgfältige Durchführung der Möllerberechnung.

Langjährige Erfahrung hat zu der Erkenntnis geführt, daß die außer den Eisenoxyden in den Erzen vorhandenen Substanzen — die Gangarten — nur dann im Hochofenbetriebe regelrecht verschmolzen werden können, wenn man durch Hinzufügung geeigneter Zuschläge zu den Erzen die chemische Zusammensetzung der erschmolzenen Schlacke derart beeinflußt, daß ihre Schmelztemperatur und ihr Flüssigkeitsgrad innerhalb gewisser Grenzen gehalten werden.

Die Möglichkeit einer zweckmäßigen Möllerberechnung wird der Betriebsleitung gewährt durch die sorgfältig durchgeführte chemische Untersuchung sämtlicher Materialien, die dem Hochofen zugeführt werden.

Deshalb sind mit modernen Hüttenwerken unerläßlich verbunden umfängliche Einrichtungen zur Probenahme aus den angelieferten Materialien und zu deren laufender chemischer Untersuchung. Aus den Untersuchungsresultaten, die das Laboratorium selbstverständlich in denkbar kürzester Zeit der Betriebsleistung liefern muß, kann sie dann die Berechnung des Möllers erfolgen lassen.

Die Probe auf die Richtigkeit des Exempels wird aber immer erst nach Verlauf von 12—20 Stunden durch den Betrieb geliefert, wenn eben die oben in den Ofen eingeführten Materialien in der Schmelzzone angekommen sind. Etwaige Fehler können also erst nach dieser Zeit erkannt werden, und es ist dann erst die Möglichkeit gegeben, auf Mittel zur Abhilfe zu sinnen.

Zur Erleichterung des Verständnisses der komplizierten Betriebsvorgänge sei hier zunächst auf Abbildung 13 verwiesen, in der ein senkrechter Schnitt durch einen modernen Hochofen auch dessen Begichtungsvorrichtung und einen Teil der Erzbehälter zur Darstellung bringt. Der Ofen selbst besteht aus Mauerwerk, welches aus Schamottesteinen hergestellt wird. Man versteht unter Schamottesteinen ein Ofenbaumaterial, das durch einen Ziegelungsvorgang aus Ton edelster Qualität hergestellt wird und dessen hauptsächlichste Eigenschaften möglichste Schwerschmelzbarkeit und Unangreifbarkeit durch die schmelzende Schlacke sowie gleichzeitig bedeutende Widerstandsfähigkeit gegen die Einwirkung äußerer Kräfte sein müssen. Aber auch dieses Material würde den Einwirkungen der außerordentlich hohen Temperatur, welche im Schmelzraum des Ofens herrscht, nicht auf die Dauer Widerstand leisten können, wenn nicht gleichzeitig durch Anordnung sehr sorgfältig verteilter und ziemlich intensiver Wasserkühlung für seine dauernde Erhaltung Sorge getragen würde. Der Ofen ist umgeben von der Eisenkonstruktion, welche die Gichtplattform trägt, und gegen diese lehnt sich bei dieser Ausführung ein Schrägaufzug, der gestattet, mit Hilfe eines elektrisch angetriebenen Windwerkes die zu verhüttenden Materialien nach

der Gicht zu befördern. Diese Materialien werden in kleinen Förderwagen, deren einer in der Abbildung zwischen dem unteren Ende des Schrägaufzuges und der Erztaschenanlage freistehend dargestellt ist, dem Schrägaufzuge zugeführt und, nachdem sie durch denselben gehoben sind, oben in den Trichter des Gichtverschlusses eingeschüttet in einer Weise, die wiederum aus der Abbildung zu erkennen ist. Der Trichter selbst ist auf dem Ofen drehbar angeordnet, so daß das Material, welches durch eine größere Anzahl von Wagen zugeführt wird, in ihm angesammelt werden kann. Erst nachdem derart eine Erz- oder Koksgicht in dem Trichter angehäuft ist, wird dessen unterer Verschluß gelüftet, um der gesamten Menge des Materials nunmehr den Eintritt in den Ofen zu gestatten.

Es ist Aufgabe der Betriebsleitung, stets den Ofen bis oben gefüllt zu erhalten.

Die im Ofen aufsteigenden Gase werden durch ein großes zentrales Gasrohr

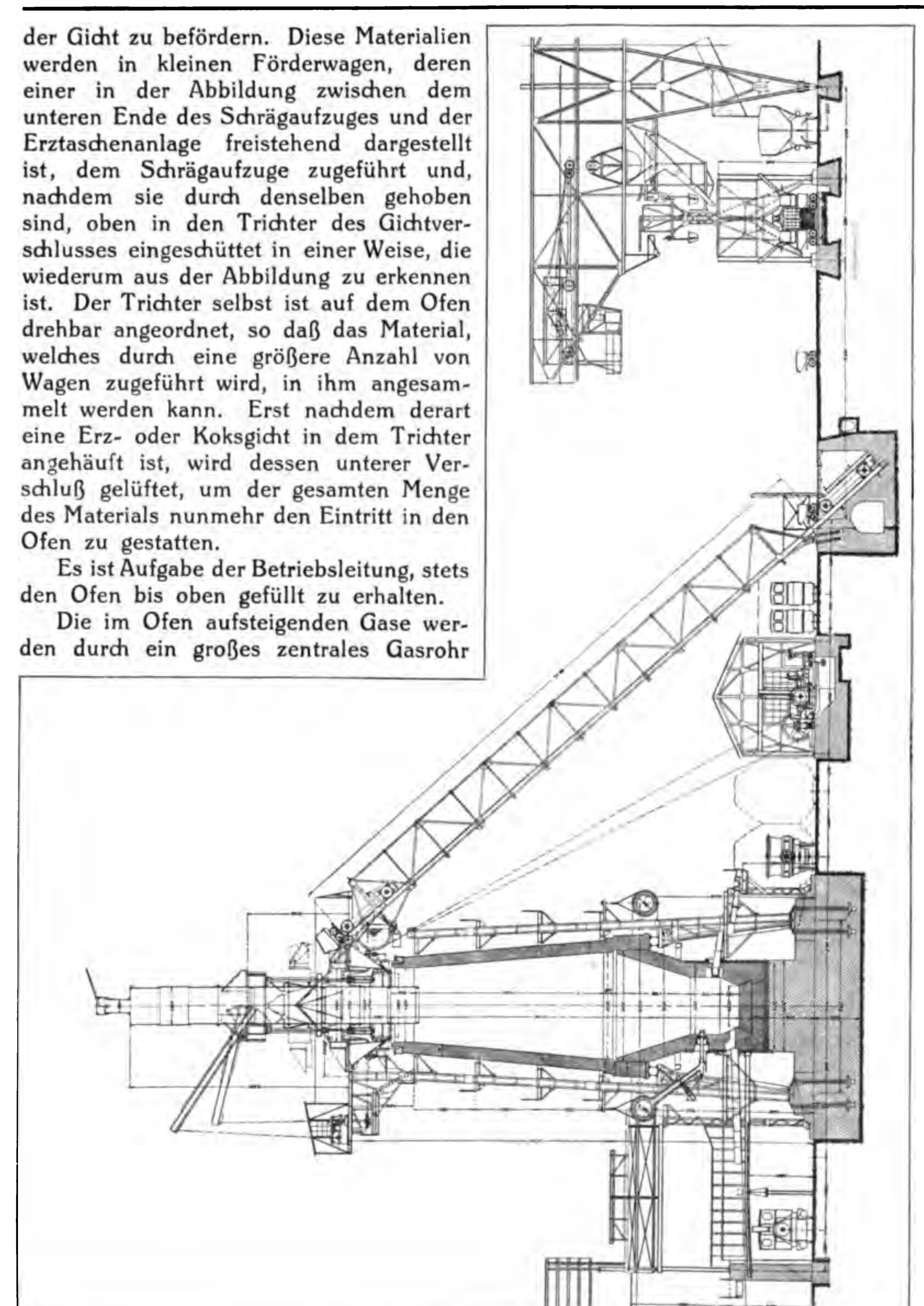


Abbildung 13. Hochofenwerk Lübeck: Hochofengichtungsvorrichtung.

durch den Verschluß des Ofens hindurch nach oben hinausgeführt und deren weiterer Verwendungsstelle zugeleitet.

Den Erztaschenanlagen wird das zu verschmelzende Material entweder vom Vorratsplatz aus oder aus Schiffsrümpfen oder von Eisenbahnwagen zugeführt. In der Abbildung 13 geschieht dies durch einen großen Transportkran, dessen Eisenkonstruktion nur noch zum Teil auf der Abbildung angedeutet ist, mit Hilfe eines elektrisch betätigten Greifers. Es gibt außerordentlich zahlreiche verschiedene Ausbildungen der Methoden, die zu verschmelzenden Materialien dem Ofen zuzuführen; auf deren Erörterung muß hier indessen verzichtet werden.

Die im Ofen abwärtssinkenden Materialien werden nun durch die entgegenströmenden Gase auf höhere Temperatur erwärmt, und es spielt sich hier eine Reihe der kompliziertesten chemischen Reaktionen ab, die im wesentlichen darauf hinauslaufen, die in den Erzen vorhandenen chemischen Verbindungen zwischen Eisen und Sauerstoff — Eisenoxyde — zu zerstören, den Sauerstoff an das in der Schmelzzone des Ofens durch Verbrennen von Koks gebildete Kohlenoxyd zu binden, wodurch dieses in Kohlensäure umgewandelt wird, und das Eisen in metallischer Form aus den Erzen abzuscheiden. Diese Reaktionen vollziehen sich bei normalem Gange des Hochofens etwa zwischen der Gicht und dem weitesten Teil des Ofens, der den Namen „Kohlensack" erhalten hat. Hier ist die Temperatur inzwischen auf etwa 1000° gestiegen, und es beginnen die Sinterungs- und Schmelzvorgänge. Gleichzeitig nimmt das aus den Erzen abgeschiedene fein verteilte Eisen aus dem Koks Kohlenstoff auf und wird dadurch in einer für die Hochofenarbeit geeigneten Temperatur schmelzbar.

Werden im Hochofen Eisenerze verhüttet, die an sich durch Gase schwer oder nicht reduzierbar sind, oder wird das Erz in großen Stücken aufgegeben, so genügt die Dauer der Einwirkung zwischen Gas und Erz während des Herniedersinkens im Ofen nicht, um die Eisenoxyde im Ofen vollkommen zu zerstören, und es gelangen dann gewisse Mengen von diesen in die Schmelzzone, in welcher sie gleichzeitig mit den schlackenbildenden Substanzen schmelzen und dadurch in innigere Berührung mit Koks treten.

Wird nun im Ofen eine Schlacke von geeigneter Zusammensetzung gebildet und ist die Temperatur hoch genug, so wird durch die Einwirkung von Kokskohlenstoff auf die schmelzende Schlacke die vollständige Ausscheidung des Eisens in der Form von Metall bewirkt. Diese Ausscheidung verursacht aber einen Verbrauch von Koks in der Schmelzzone, welcher dadurch seiner eigentlichen Bestimmung entzogen wird. Während nämlich durch die Reaktion von Kokskohlenstoff gegen Luftsauerstoff unter Bildung von Kohlenoxyd die zur Durchführung der Schmelzarbeit erforderliche Wärme erzeugt wird, wird durch die Wechselwirkung zwischen Eisenoxyden und Kokskohlenstoff, welche wiederum unter Bildung von Kohlenoxyd erfolgt, Wärme verbraucht, da der hierfür erforderliche Sauerstoff nicht frei zur Verfügung steht, sondern den Eisenoxyden entrissen werden muß. Die erst in der Schmelzzone verlaufende Reduktion der Eisenoxyde verursacht deshalb in doppelter Hinsicht einen Mehrverbrauch an Koks, weil einerseits Koks der Reaktion gegen Luftsauerstoff entzogen wird, und weil anderseits dieser Anteil des Kokskohlenstoffes nunmehr wärmeverbrauchend statt wärmeerzeugend wirkt.

Die Reduzierung der Eisenoxyde in der Schmelzzone des Ofens ist deshalb in beträchtlichem Maße unwirtschaftlich, und der wärmeverbrauchende Charakter der Reaktion macht sich stark bemerkbar durch Verminderung der Temperatur im Ofengestell. Hierin liegt auch die Hauptursache dafür, daß der Gang eines Hochofens durch Er-

höhung der Windzufuhr nicht über ein gewisses Maß hinaus gesteigert werden kann Der Betriebsleiter des Ofens wird im allgemeinen bestrebt sein, den Ofengang derart zu leiten, daß die Reduktion der Erze überwiegend durch die im Ofen aufsteigenden kohlenoxydhaltigen Gase bewirkt wird, und das wird ihm möglich durch eine Zuführung desjenigen Windquantums in der Zeiteinheit, welches erfahrungsgemäß der normalen Durchsatzzeit des Ofens entspricht. Erhöht er bei günstigstem Ofengange die Windzufuhr, um die Produktion des Ofens zu steigern, so wird die Durchsatzzeit verringert, und infolgedessen muß die Menge derjenigen Eisenoxyde wachsen, die unreduziert in die Schmelzzone gelangen und nun ihrerseits eine Erhöhung des Koksverbrauches und eine Verminderung der Ofentemperatur verursachen. Durch diese Einwirkung wird aber der Gleichgewichtszustand im Ofen gestört und die Qualität des erblasenen Eisens verändert. Der Betriebsleiter wird also in solchen Fällen durch Verminderung der Windzuführung eine Verzögerung des Ofenganges herbeiführen müssen, um die Temperatur im Gestell wieder zu erhöhen.

Umgekehrt kann bei gegen die Absicht zu hoch gestiegener Temperatur durch Vermehrung des Windquantums eine Beschleunigung des Ofenganges und eine Herabdrückung der Temperatur in der Schmelzzone bewirkt werden.

Es ist als allgemein gültige Regel anzusehen, daß bei verhältnismäßig niedriger Temperatur ein Eisen erzeugt wird, welches überwiegend aus Eisen und Kohlenstoff besteht und daher weißen Bruch zeigt. Erhöht man die Temperatur, was absichtlich durch Verminderung des Erzquantums im Verhältnis zu dem pro Gicht in den Ofen eingeführten Koksquantum bewirkt wird, so wird aus der Schlacke eine mehr oder minder große Menge von Silizium reduziert und in das Eisen übergeführt, da der Kokskohlenstoff bei Überschreitung einer gewissen Temperatur bei Gegenwart von Eisen die Fähigkeit besitzt, aus der Kieselsäure der Beschickung den Sauerstoff an sich zu reißen und das Silizium freizumachen.

Durch Aufnahme von Silizium wird aber das vorher weiße Eisen, wie gezeigt worden ist, in graues Eisen verwandelt. So ist der Hochöfner imstande, je nach Regelung der Temperatur in seinen Öfen, im Prinzip sogar aus ein und demselben Möller, nach Belieben weißes oder graues Eisen zu erblasen.

Eine ähnliche Veränderung im Ofengange muß durchgeführt werden, wenn man beispielsweise aus Erzen, welche größere Quantitäten Mangansauerstoffverbindungen enthalten, das Mangan reduzieren und in das Eisen überführen will. In extremen Fällen dieser Art ist man sogar in der Lage, Eisensorten zu erzeugen, welche gleich viel oder mehr Mangan als Eisen enthalten und in der hüttenmännischen Sprache mit dem Namen „Ferromangan" bezeichnet werden. In Ergänzung dieser Darlegungen sei noch hervorgehoben, daß die in Tabelle 1 erwähnten Ferrosiliziumlegierungen in gleicher Weise durch entsprechende Erhöhung der Ofentemperatur im Hochofen dargestellt werden können.

Während so die Menge des aus den Erzen in das erschmolzene Eisen übergehenden Mangans oder Siliziums durch entsprechende Regelung des Hochofenganges beeinflußt werden kann, ist dies im allgemeinen hinsichtlich des Phosphors nicht ausführbar. Unter normalen Verhältnissen pflegt sämtliche in den Erzen vorhandene Phosphorsäure während des Hochofenprozesses zu Phosphor reduziert zu werden, der vollständig vom Eisen aufgenommen wird.

Hinsichtlich des fünften der in der Einleitung hervorgehobenen regelmäßigen Bestandteile des Roheisens — des Schwefels — bestehen Verhältnisse etwas komplizierterer Art. Der in der Beschickung vorhandene Schwefel geht fast vollkommen in

das Eisen über, wenn der Hochofenbetrieb mit einer Schlacke durchgeführt wird, die reich an Kieselsäure ist, während es gelingt, den Schwefel annähernd gänzlich in die Schlacke überzuführen, wenn die chemischen Verhältnisse derselben derart gestaltet werden, daß die Kieselsäure zurücktritt und Kalk — in der Form von Kalziumoxyd — den Hauptbestandteil der Schlacke bildet. Die Möglichkeit, den Hochofenbetrieb mit hoch kalkhaltigen Schlacken zu führen, ist freilich nur vorhanden, wenn die Temperatur im Gestell des Hochofens relativ hoch gehalten wird, so daß dann mehr oder minder große Quantitäten von Silizium, trotz des hohen Kalkgehaltes der Schlacke, unvermeidlich in das Eisen übergeführt werden.

Aus schwefelhaltiger Beschickung kann deshalb ein schwefelfreies Eisen fast nur in der Form des grauen Eisens erschmolzen werden, während weißes Eisen mehr oder minder schwefelhaltig fallen wird.

Die Regelung der Vorgänge in der Schmelzzone des Ofens bildet deshalb die hauptsächlichste Aufgabe eines den Anforderungen des Betriebes gewachsenen Hochofeningenieurs.

Die Schmelzzone des Ofens wird in Abbildung 13 dadurch charakterisiert, daß in diesen Teil des Ofens aus einer ringförmig um den Kohlensack herumgelegten ausgemauerten eisernen Leitung der heiße Wind mit Hilfe von Abzweigrohren — den Düsenstöcken — bis in die in das Innere des Ofens reichenden Verlängerungen derselben — die Formen — eingeführt wird.

Um einen gleichmäßigen Schmelzgang des Ofens zu bewirken, ist es notwendig, die Zahl der Düsenstöcke und der Formen ziemlich hoch zu wählen und sie möglichst gleichmäßig über den Umfang der Schmelzzone zu verteilen. Moderne Öfen besitzen etwa 8—20 Düsenstöcke und Formen.

Der aus ihnen ausströmende heiße Wind tritt naturgemäß sofort mit dem in höchster Temperatur befindlichen Koks in Reaktion und verbrennt einen seiner Menge entsprechenden Anteil desselben. Auf diese Weise wird die zur Schmelzung der Beschickung erforderliche Wärmemenge und Temperatur erzeugt. Eine Vorstellung, daß nunmehr in der Schmelzzone sämtliches in diese eingeführte Material auch in Schmelzfluß übergegangen wäre, würde indessen irrig sein. Ein solcher Vorgang würde auch zur Folge haben, daß die Beschickung hier so fest aneinanderbacken würde, daß ein weiteres Eindringen von Wind, selbst bei Anwendung außerordentlich erhöhten Gebläsedruckes, nicht mehr stattfinden könnte. Es ist vielmehr für die Durchführbarkeit des Prozesses unbedingt erforderlich, daß ein wesentlicher Anteil der Beschickung, nämlich der Koks, trotz der hohen Temperatur ungeschmolzen und fest bleibt, da dieser die Last der gesamten auf ihm ruhenden Masse des Beschickungsmaterials tragen muß. Es ist deshalb in der Schmelzzone und in dem unterhalb derselben befindlichen Raume — dem Gestell — stets die Anwesenheit eines großen Überschusses von Koks ein unbedingtes Erfordernis. Dieser Koks wird auch durch den Druck der auf ihm ruhenden Beschickungssäule in die sich im Gestell des Ofens ansammelnden geschmolzenen Massen hinuntergepreßt, bis er den Boden des Ofens berührt und an ihm ein entsprechendes Widerlager findet.

Die Zwischenräume zwischen den Koksstücken werden nun im Gestell durch geschmolzene Materialien ausgefüllt, während in diesen Zwischenräumen in der Schmelzzone sich die Verbrennungsgase bewegen und überdies in ihnen die verflüssigten Materialien in das Gestell des Ofens hinuntertropfen.

Das durch die Düsenstöcke und die Ofenformen in das Ofeninnere hineinschauende Auge eines Beobachters sieht deshalb zwischen den hellglühenden Koksstücken noch

etwas stärker leuchtende kleine Bäche geschmolzenen Materials aus den höherliegenden Partien des Ofens herniederrieseln.

Im Gestell sammeln sich nun Eisen und Schlacke in flüssiger Form an, und zwar das Eisen zu unterst, weil es entsprechend seines spezifischen Gewichts von ca. 7,0 erheblich schwerer ist als die flüssige Schlacke, deren spezifisches Gewicht etwa 2,5 mal so groß ist als dasjenige des als Maßeinheit dienenden Wassers.

Da unsere Hochöfen infolge der gegebenen Zusammensetzung der Erze meist ein größeres Gewicht an Schlacke als an Eisen erschmelzen müssen, pflegt das Volumen der Schlacke wegen ihres geringeren spezifischen Gewichts ungefähr dreimal so groß zu sein als dasjenige des erschmolzenen Eisens. Es ist deshalb nicht möglich, Schlacke und Eisen gleichzeitig im Gestell des Ofens anzusammeln, sondern die Schlacke muß während des Schmelzvorgangs kontinuierlich aus dem Ofen entfernt werden.

Die Möglichkeit hierzu gewährt eine Vorrichtung, deren Konstruktion wir unserem ausgezeichneten, noch lebenden deutschen Hüttenmann Dr.-Ing. Lürmann verdanken — die Schlackenform.

Eine solche ist auf der bereits mehrfach erwähnten Abbildung 13 an der rechten Seite des Ofengestells gegenüber der Windform angedeutet. Sie besteht aus einem doppelwandigen Gußstück aus Bronze, das mit einem kreisrunden Loch von etwa 50—70 mm Durchmesser versehen ist, durch welches die Schlacke aus dem Ofen herausfließt, während in der doppelten Wandung der Schlackenform ein kräftiger Strom von Kühlwasser zirkuliert. Die Schlackenform selbst ist durch wassergekühlte eiserne Einbaustücke in der Ofenwand befestigt. Nur durch diese ausgiebige und ununterbrochene Anwendung der Wasserkühlung ist es möglich, die Schlackenform der zerstörenden Einwirkung der Schlacke gegenüber widerstandsfähig zu machen.

Die aus dem Ofen herausströmende Schlacke wird nun entweder, wie wiederum in Abbildung 13 angedeutet ist, in großen Schlackenwagen aufgesammelt und mit deren Hilfe auf die Schlackenhalde gefahren, oder man leitet den Strahl der flüssigen Schlacke in einen Strom von Wasser, so daß sie momentan zur Erstarrung gebracht und auf diese Weise in Schlackensand umgewandelt wird.

Dieser Schlackensand findet mannigfache Verwendung zu Mauerungszwecken und dergleichen. In neuerer Zeit wird auch aus Schlackensand geeigneter chemischer Zusammensetzung mit Hilfe einer Reihe voneinander verschiedener Verfahren Zement dargestellt.

Das im Ofen erschmolzene Eisen sammelt sich nun im Gestell an und muß aus demselben spätestens dann entfernt werden, wenn sein Niveau so hoch gestiegen ist, daß es beginnt, aus der Schlackenform auszufließen. Diese Entleerung erfolgt dadurch, daß man mit Hilfe von schweren eisernen Stangen ein am Boden des Ofens im Mauerwerk ausgespartes und mit einer besonderen Stopfmasse verschlossenes Loch eröffnet. Aus diesem strömt dann das flüssige Eisen in starkem Strahl hervor. Es wird nun entweder in ähnliche Wagen geleitet, wie sie eben für den Schlackentransport erwähnt worden sind, um mit Hilfe derselben zu direkter Weiterverarbeitung in das Stahlwerk übergeführt zu werden, oder man leitet den Strahl des flüssigen Eisens in die Gießhallen, in deren Boden Formen in Sand oder Eisen zur Aufnahme desselben hergerichtet sind.

Da die modernen Öfen gewaltige Produktionsmengen besitzen und die Herrichtung dieser Formen in den Gießhallen innerhalb von 24 Stunden nicht gut öfter als viermal erfolgen kann, so ist es erklärlich, daß die einzelnen Abstiche sehr beträchtliche Mengen von Eisen auf einmal in die Halle entleeren.

Dem Beobachter bietet sich hier ein Schauspiel, wie es großartiger im Hüttenbetriebe nur selten oder niemals erblickt werden kann.

Die ungeheure in dem Eisen aufgespeicherte Wärmemenge muß durch Ausstrahlung an die Umgebung übertragen werden. Selbst wenn die Abkühlung durch Aufspritzen von Wasser beschleunigt wird, gehört es aber zu den allerschwersten Arbeiten im Hüttenbetriebe, diese glühendheißen Eisenmassen aufzubrechen, aus der Gießhalle fortzuschaffen und das Gießbett in der kurzen zur Verfügung stehenden Zeit wieder neu herzurichten für die Aufnahme des nächsten Abstichs.

Vollzieht sich der Abstich regelmäßig und befindet sich der Hochofen in ordnungsmäßigem Gange, so beschränkt sich die Arbeit der eigentlichen Hochofenarbeiter, zu denen man die Eisen- und Möllerfahrer nicht rechnet, auf die fortlaufende Überwachung des richtigen Funktionierens der mannigfachen Apparate, die zum Hochofen gehören, und ist nicht als schwere Arbeit zu betrachten. Der natürliche Verlauf des Betriebes gewährt auch während der Schicht überreichliche Betriebspausen, so daß von einer starken Inanspruchnahme der Hochofenarbeiter dann nicht gesprochen werden kann. Es ist allerdings nach der ganzen Natur des Hochofenprozesses durchaus unmöglich, ihn etwa allwöchentlich am Sonntag während einer Reihe von Stunden zu unterbrechen; der Gang der Hochöfen würde durch eine derartige Betriebsmaßnahme so schwere Störungen erleiden, daß nach Wiederaufnahme des Blasens mehrere Tage erforderlich sein würden, um wieder zu normalen Betriebsverhältnissen zu gelangen. Eine etwaige Einführung der Sonntagsruhe in diesen Betrieb würde unsere Hochofenindustrie vernichten und damit der gesamten Eisenindustrie die Grundlage ihrer Existenz entziehen.

Da der Hochofenarbeiter während der Arbeitszeit im normalen Betrieb nicht stark angestrengt wird und der Betrieb Tag und Nacht ununterbrochen durchgeführt werden muß, so ist es allgemeiner Gebrauch, die tägliche Arbeitszeit des einzelnen auf 12 Stunden zu normieren, d. h. also die Schicht von 6—6 Uhr währen zu lassen. Es muß hierdurch freilich in Kauf genommen werden, daß die eine Hälfte der Belegschaft in Tagesschicht und die andere in Nachtschicht arbeitet. Da nun nicht von der einen Hälfte der Arbeiterschaft dauernd die Ausführung der Arbeit während der Nachtzeit verlangt werden kann, so muß von Zeit zu Zeit zwischen diesen beiden Belegschaften ein Wechsel hinsichtlich der Wahl der Arbeitsstunden stattfinden. Es ist üblich, diesen Wechsel stets nach Ablauf von 8 Tagen, also am Sonntag, eintreten zu lassen, und deshalb ist es unvermeidlich, daß jeweils eine Schicht an einem Sonntage auf die Dauer von 24 Stunden ausgedehnt wird.

Wenn die Arbeitstätigkeit des Hochofenarbeiters während des normalen Ganges der Hochöfen nicht als eine besonders schwere bezeichnet werden kann, so ändert sich das Bild aber vollständig, wenn der Hochofen in Unordnung geraten ist.

Schon die Ausführung normaler Reparaturarbeiten, die stets ja am in voller Temperatur befindlichen Ofen vorgenommen werden müssen, selbst wenn, um ihre Durchführung zu erleichtern, zeitweise der Wind abgestellt wird, ist eine recht schwierige. Es wird von Zeit zu Zeit notwendig, Windformen auszuwechseln, die Schlackenformen zu erneuern oder Kühlkästen an bestimmten Stellen des Ofenmauerwerks einzubauen. Stets befindet sich der Arbeiter dabei den glühenden Massen des Ofeninnern gegenüber, die fast regelmäßig giftige, stark kohlenoxydhaltige Gase entsenden. Die Arbeiten werden aber häufig lebensgefährlich, wenn größere Unregelmäßigkeiten im Ofengange vorliegen. Das Mauerwerk des Hochofens verschleißt im Laufe der Jahre, und es ereignet sich dann an einigen Orten häufig, an anderen seltener, daß an

einer anderen Stelle des Ofenmauerwerkes als an der Abstichöffnung das flüssige Eisen aus dem Ofeninnern hervorbricht und dann in gewaltigem, nicht abzudämmendem Strome seinen Weg sich irgendwo anders hin sucht als nach der Gießhalle. Kommt es dadurch in Berührung mit Wasser, so entwickeln sich mächtige Dampfwolken. Wird Wasser in kleinen Mengen von flüssigem Eisen überdeckt oder umschlossen, so sind heftige Explosionen, die das glühende Material weit in der Hütte umherschleudern, die unvermeidliche Folge der momentan eintretenden Bildung großer Dampfmengen. Erfolgt ein solcher Durchbruch an einer höhergelegenen Stelle des Hochofens, so fließt nicht das flüssige Material aus der entstandenen Öffnung hinaus, sondern infolge des im Ofeninnern herrschenden Winddruckes von häufig nahezu einer Atmosphäre werden glühende Koksteile mit aus dem Ofeninnern herausgerissen und weithin durch den Hüttenraum geschleudert.

Ist der Ofengang in dem Sinne anormal geworden, daß das Herniedersinken der Gichten im Schacht nicht mehr regelmäßig erfolgt, sondern sich seitliche Ansätze gebildet haben, die ihrerseits wieder zu vollständigen Gewölbebildungen des im Ofen befindlichen Materials führen, so bildet sich unterhalb des Gewölbes durch den Fortgang der Schmelzoperation ein hohler Raum, in den dann nach kürzerer oder längerer Zeit, wenn durch die Wirkung der aufsteigenden Gase das Gewölbe schließlich zum Einsturz gelangt, die großen im Ofen befindlichen Massen mit Gewalt herunterstürzen. Dieses „Hängen" der Öfen gehört zu den gefürchtetsten Erscheinungen im Hochofenbetrieb und führt in schwereren Fällen zur Ausbildung von Explosionen im Ofeninnern, die, solange sie in mäßigen Grenzen bleiben, beträchtliche Massen von Material oben aus der Gicht herauswerfen, die aber, wenn sie in besonders schwerer Form auftreten, auch bereits nicht selten den Ofen vollständig zerstört haben.

Auch der Abstich vollzieht sich nicht stets ruhig und gefahrlos, sondern es genügen oft schon kleine Unachtsamkeiten der Bedienungsmannschaften (beispielsweise eine allzu starke Anfeuchtung des Sandes in der Gießhalle) oder der Eintritt eines heftigen Regengusses, wenn der Gießplatz nicht überdacht ist, usw., um das Eisen in den Gießbetten zum „Kochen" zu bringen. Die Erscheinung erklärt sich dadurch, daß aus dem Sande des Gießbettes stürmisch durch die Einwirkung der Hitze des Eisens Wasserdämpfe entwickelt werden, die nun ihrerseits das flüssige Eisen weithin durch die Halle schleudern und den Boden der Gießhalle aufwühlen. In die entstandene Vertiefung läuft stets wieder flüssiges Eisen nach, seinerseits wieder die stürmischen Erscheinungen vermehrend. Für ein Laienauge wird der Anschein erweckt, als ob plötzlich in der Gießhalle ein kleiner Vulkan entstanden sei. Wenn es nicht gelingt, das Eisen rasch genug von der gefährlichen Stelle nach anderen Teilen der Gießhalle abzuleiten, kann auf diese Weise der ganze Abstich verloren gehen, indem er dann mitten in der Halle einen mächtigen Block, aus Eisen und Formsand bestehend, bildet, der nur mit Hilfe von Sprengungen in mühseliger Arbeit wieder beseitigt werden kann.

Der Hochofenbetrieb kann also Unregelmäßigkeiten irgendwelcher Art nur sehr schwer erdulden, insbesondere erfordert es fast stets mühselige, tagelange Arbeit, um die Folgen einer Störung wieder zu beseitigen.

Aus dem gleichen Grunde ist die Durchführung des Hochofenbetriebes auch unerläßlich gebunden an die regelmäßige und ununterbrochene Zuführung der für den Ofenbetrieb erforderlichen Materialien. Muß in dieser Hinsicht mit der Möglichkeit von Unterbrechungen gerechnet werden, so ist es erforderlich, gewaltige Vorratsmengen von Koks oder Erzen auf dem Hüttenplatze anzuhäufen. Auch plötzliche, etwa durch

Streik eintretende Unterbrechungen bringen die Hochofenwerke in die allerübelste Lage. Ein Hochofen, dessen Betrieb, ohne daß es möglich gewesen wäre, gewisse Vorbereitungen zu treffen, längere Zeit unterbrochen werden muß, ist fast stets zum Erlöschen verurteilt. Ist es dagegen möglich, wenigstens einen Tag lang, für eine solche Unterbrechung Vorsorge zu treffen, z. B. die Öfen in starkem Maße mit Koks zu füllen und sämtliche Öffnungen, insbesondere am unteren Teil derselben, mit feuchtem Ton oder dergleichen abzusperren, so kann ein Ofen eine Betriebsunterbrechung von mehreren Monaten überdauern. Es ist bereits öfter der Beweis geliefert worden, daß nach einem derartigen längeren Stillstande Öfen ohne irgendwelche größere Schwierigkeit wieder haben in Betrieb gesetzt werden können.

Aus alledem geht aber immer wieder hervor, daß regelmäßige Betriebsunterbrechungen, etwa am Sonntag, jeden Hochofenbetrieb unmöglich machen würden.

Der Hochofenbetrieb ist, wie in den vorstehenden Erörterungen dargelegt wurde, in der neuesten Zeit zur Kraftquelle der Hüttenwerke geworden. Dieser neueste Fortschritt hat aber auch seine recht beträchtlichen Schattenseiten.

Noch vor wenigen Jahren, als die Hochofengichtgase überwiegend unter Dampfkesseln verbrannt wurden und der so erzeugte Dampf zum Betriebe der Gebläsemaschinen usw. verwendet wurde, besaß das Hochofenwerk in seinen großen Kesselbatterien eine Kraftreserve von beträchtlicher Leistungsfähigkeit. Ein Hochofen, der unregelmäßig geht, eventuell nahe daran ist, infolge seiner Unregelmäßigkeiten zum Erliegen zu kommen, liefert natürlich infolge seiner verminderten Schmelztätigkeit auch nur sehr geringe Quantitäten an Hochofengas, dessen Brennfähigkeit überdies auch noch häufig auf ein Minimum herabgesetzt ist. In solchen Fällen war damals der Hochöfner in der Lage, aus der Dampfkesselbatterie längere Zeit seinen Kraftbedarf zu decken, ja er konnte in Notfällen dazu schreiten, diese Dampfkessel durch Kohlen heizen zu lassen. Mit der Einführung der Ausnutzung der Gichtgase in Großgasmaschinen ist in unseren Hochofenwerken indessen jegliche Kraftreserve in Wegfall gekommen. Selbst wenn man in gewaltigen Gasometern Tausende von Kubikmetern Hochofengas aufspeichert, so ist dieser Gasvorrat doch immer nur für Minuten in der Lage, den Gasbedarf der Großgasmaschinen zu decken. Eine Stockung in der Lieferung der Gichtgase hat deshalb die Einstellung des Gasmaschinenbetriebes zur unmittelbaren Folge, und wenn die Gichtgasgebläsemaschinen nun ihrerseits nicht mehr in der Lage sind, dem Hochofen Wind zuzuführen, so ist mit einem Male der Betrieb lahmgelegt.

Eine derartige plötzliche Betriebsstockung erstreckt sich nun aber heute nicht nur allein auf das Hochofenwerk, sondern auch auf alle diejenigen Teile des weitverzweigten Hüttenbetriebes, deren Kraftbedarf zurzeit vom Hochofenwerk gedeckt wird.

Aus diesen Ursachen ist es nur möglich, die Gase der Hochöfen in der geschilderten vollkommenen Weise in Großgasmaschinen auszunutzen, wenn das Hüttenwerk über eine nicht allzu kleine Zahl von Hochöfen verfügt. Die Erfahrung hat gelehrt, daß Betriebsstörungen schwerer Art nur höchst selten an mehreren Hochöfen desselben Werkes gleichzeitig einzutreten pflegen.

Die größere Zahl der Öfen muß jetzt also die unumgänglich erforderliche Sicherheit einer ununterbrochenen Gaslieferung gewährleisten.

Es geht hieraus hervor, daß kleinere Hochofenwerke, die nur mit einem oder zwei Öfen arbeiten, nicht in der Lage sind, die Vorteile der Ausnutzung des Gichtgases in Gaskraftmaschinen sich zu eigen zu machen.

Durch die eben geschilderte neueste Ausgestaltung des Hochofenbetriebes sind die wirtschaftlichen Bedingungen desselben günstiger gestaltet worden, da das finanzielle

Erträgnis der vollkommenen Ausnutzung der Hochofengase ein sehr bedeutendes ist, aber der Betrieb ist gegenüber der früheren Zeit erheblich schwieriger und verantwortungsreicher geworden. Die Anforderungen, die er an die Umsicht, Sorgfalt und Fachkenntnis der Betriebsleitung stellt, sind in sehr rascher Steigerung begriffen.

Der Hochofenbetrieb wird an sehr vielen Orten der Erde ausgeübt; er kann aber nur da mit wirtschaftlichem Erfolg ausgeführt werden, wo es möglich ist, das Roheisen zu einem konkurrenzfähigen Preise zu erzeugen. Der Roheisenverkaufspreis ist in jedem Lande abhängig

1) vom Verbrauch des Inlandes,

2) soweit die Erzeugung den Inlandsbedarf übersteigt, vom Preise des Roheisens auf dem Weltmarkte. Die Höhe des Inlandpreises ist wieder insoweit abhängig vom Preise des Weltmarktes, als er diesen nicht um einen größeren Betrag überschreiten kann, als der Höhe etwaiger Importzölle entsprechen würde.

Der Inlandpreis von Roheisen kann deshalb in Zeiten wirtschaftlichen Niederganges, also geringen Verbrauchs an Eisen, unter den Weltmarktpreis sinken, aber er kann ihn niemals wesentlich übersteigen, es sei denn, daß Zollsätze von großer Höhe die Entstehung einer solchen Differenz ermöglichen.

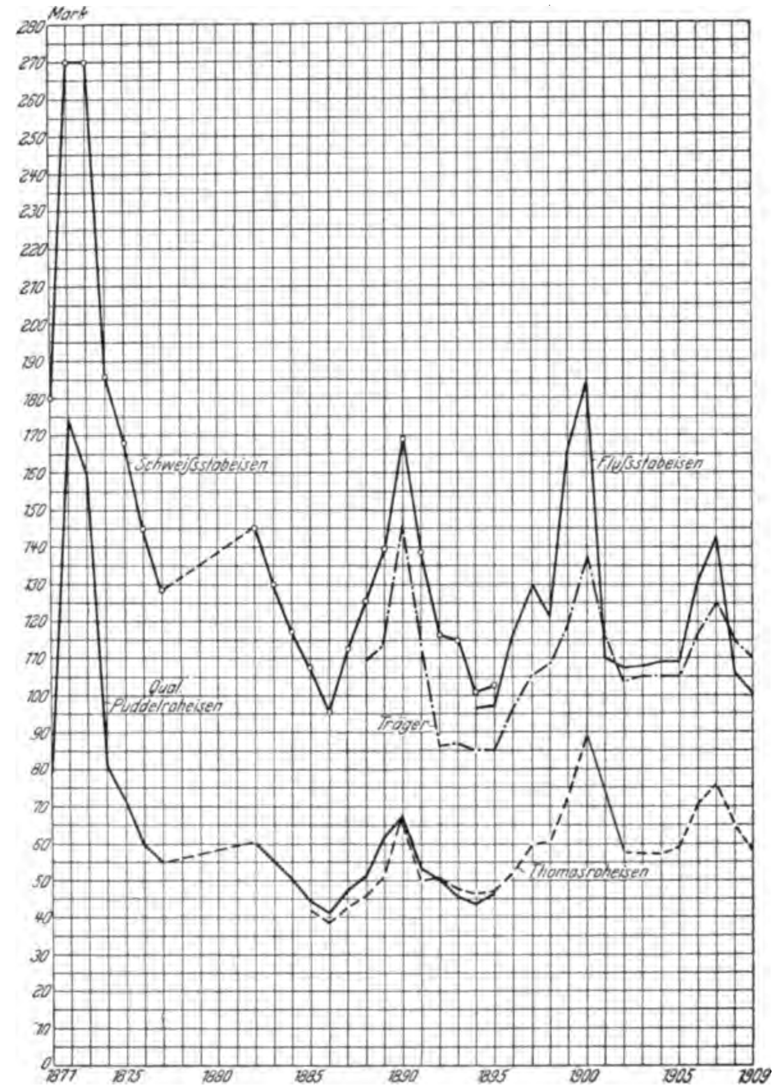


Schaubild Nr. 5. Jahresdurchschnittspreise verschiedener Eisensorten.

Schaubild Nr. 5 zeigt die Bewegung der Preise des deutschen Marktes für eine typische Sorte Roheisen und das aus demselben hergestellte schmiedbare Eisen. Auch dieses Schaubild wie dasjenige der Jahresproduktion läßt den Einfluß guten oder ungünstigen Geschäftsganges auf die Preisgestaltung erkennen.

Die Differenz zwischen den Preisen des Roheisens und schmiedbaren Eisens entspricht den Verarbeitungskosten des Roheisens und dem Fabrikationsgewinn der-

jenigen Werke, welche schmiedbares Eisen aus Roheisen erzeugen. Wir erkennen zunächst, daß der Preis von Roheisen vor 40 Jahren sehr erheblich viel höher lag als in der Gegenwart; wir erkennen aber auch, daß zwischen beiden Zeiten eine Periode von etwa zehn Jahren liegt, 1885—1895, in denen der Preis von Roheisen und schmiedbarem Eisen in beträchtlichem Maße tiefer gestanden hat als vor und nach dieser Zeit. Es muß aus der ganzen Entwicklung der wirtschaftlichen Verhältnisse geschlossen werden, daß ein so niedriger Preisstand des Eisens niemals mehr erreicht werden wird, denn mit den in der Gegenwart erheblich gestiegenen Preisen von Erz und Koks und unter Aufrechterhaltung der sehr beträchtlich gestiegenen Lohnhöhe sowie unter Berücksichtigung der sehr großen Lasten, welche in der Zwischenzeit der Industrie in steuerlicher Hinsicht sowie auch durch die Arbeiterversicherungsgesetze auferlegt worden sind, würde ein Eisenhüttenbetrieb vollkommen unrentabel werden, wenn die Preise jemals wieder auf das Niveau der Mitte der achtziger oder neunziger Jahre herabsinken sollten.

Die Zeiten billigsten Eisens gehören aller Voraussicht nach der Vergangenheit an.

DIE GEWINNUNG DES SCHMIEDBAREN EISENS UND DES STAHLS

In früheren Jahrhunderten, vor Ausbildung des Hochofenprozesses, wurde schmiedbares Eisen unmittelbar aus Eisenerzen gewonnen.

Die Kunst, auf diese Weise Eisen zu erzeugen, ist nachweislich schon Jahrtausende alt. Sie ist von den verschiedensten Völkern ausgeübt und aller Wahrscheinlichkeit nach an vielen Orten der Erde von Handwerkern, die sich mit der Erzeugung von Arbeitsgeräten beschäftigten, entwickelt worden. Es ist nicht nachweisbar und auch nicht wahrscheinlich, daß in der frühen Zeit der menschlichen Entwicklung, in der die hierfür erforderlichen Entdeckungen und Erfindungen gemacht wurden, bereits Handelsbeziehungen zwischen diesen Völkern bestanden hätten. Es ist vielmehr anzunehmen, daß an vielen Orten, an denen die Bedingungen für die Entwicklung eines Eisenerzeugungsbetriebes günstig waren, diese selbständig stattgefunden hat.

Noch heutzutage treten an vielen Orten der Erde Eisenerzablagerungen zutage. Es brauchte daher nur der glückliche Zufall obzuwalten, daß Erzstücke geeigneter Zusammensetzung in irgendein intensiv brennendes Holzfeuer gerieten, um in demselben zu Metall reduziert zu werden. Nachdem diese Beobachtung einmal gemacht worden war, hat es nahegelegen, den Vorgang absichtlich zu wiederholen und die Bedingungen für die Erwärmung der Erzstücke so günstig zu gestalten, als es mit den primitiven Hilfsmitteln der damaligen Zeit erreichbar war. Der Ersatz des frischen Holzes durch Holzkohle erscheint als naheliegende Veränderung, und der ganze natürliche Entwicklungsgang hat deshalb dazu geführt, diejenige einfache Form der Gewinnung von schmiedbarem Eisen direkt aus den Erzen auszubilden, die wir in den ältesten über die Kunst der Eisenschmiede handelnden Handschriften übereinstimmend beschrieben finden.

Es wurde Eisenerz in einem großen Feuer mit Holzkohle gemischt, erwärmt und die glühenden Massen durch Ausbildung einer einfachen, schachtförmigen Mauerung zusammengehalten. Die alten Aufzeichnungen erwähnen unter anderem den Umstand, daß man in gewissen Gegenden regelmäßig wehende Winde ausnützte, um das Feuer in diesem Erzhaufen anzutreiben, indem man, wie beispielsweise am steirischen Erzberg, derartige Eisenhütten auf der Ostseite und auf der Westseite des Erzberges errichtete und diejenigen in Betrieb nahm, die in der günstigsten Windrichtung lagen.

Von der Ausnutzung der natürlichen Windströmung bis zu der Betriebsmaßnahme, Luft durch primitive Gebläse einzuführen, die anfangs von Menschenhand getrieben wurden, ist nur ein einfacher Schritt.

Auf dieser Stufe der Vervollkommnung sehen wir nun das Gewerbe der Eisenschmiede außerordentlich lange Zeit verharren. In den Feuern wurde Schweißhitze erzeugt; die durch die reduzierende Wirkung der Holzkohle aus den Erzen gewonnenen Metallteile ballten sich in dieser Temperatur zu größeren Klumpen zusammen. Beträchtliche Mengen des Eisenerzes gerieten mit den Gangarten in Fluß und wurden als Schlacke an dem tiefsten Punkt der Öfen entleert, so lange, bis die Menge des im Ofen befindlichen Eisens dasjenige Gewicht erreicht hatte, das die Schmiede der damaligen Zeit in der Lage waren, von Hand auf dem Amboß zu bearbeiten. Diese Barren, „Wölfe" genannt, wurden dann aus den Feuern herausgehoben, durch kräftiges Hämmern möglichst von der Schlacke befreit und durch mehrfaches Ausschmieden und Wiederzusammenschweißen in Stäbe einer relativ gleichmäßigen Zusammensetzung verwandelt.

Es gehörte naturgemäß eine hohe Kunst der Feuerführung dazu, in diesem einfachen Verfahren ein gleichmäßiges Produkt zu erzeugen, und es konnten nur allerreinste und hochhaltige Erze zur Anwendung gelangen, da nur diese ein brauchbares Produkt ergaben. Eine ganz besondere Kunst war es, in diesem Verfahren ein Produkt zu erhalten, welches nicht nur die Qualität weichen, schmiedbaren Eisens besaß, sondern die Eigenschaften des Stahles zeigte; diese Kunst wurde im höchsten Maße geheimgehalten.

Aus alten Überlieferungen erfahren wir, daß die Landesfürsten der damaligen Zeit, in deren Machtbereich Eisen und Stahl erzeugt wurde, mit Todesstrafe jeden bedrohten, der etwa diese Kunst außer Landes tragen würde.

Der Wunsch, die Tagesproduktion einer derartigen Schmiedehütte zu vergrößern, führte zur Vergrößerung und Erhöhung der Öfen, und dieses wieder hatte zur Folge, daß die Temperatur in den Feuern stieg und denjenigen Grad erreichte, bei welchem das aus den Erzen reduzierte Eisen aus der Holzkohle größere Mengen Kohlenstoff auflöste, auf diese Weise in der hier herrschenden Temperatur schmelzbar wurde und nun gegen den Willen und zum Erstaunen der Hüttenleute in flüssiger Form aus dem Ofen heraustrat ... Die Eisenschmiede der damaligen Zeit waren der Meinung, daß dieses Eisen noch nicht genügend im Feuer verarbeitet worden sei, und nannten es deshalb „Roheisen", welchen Namen das entsprechende Produkt bis heute behalten hat.

Aus dieser Anschauung heraus nahmen sie dieses Roheisen ein zweites Mal ins Feuer, um dasselbe einer intensiven Einwirkung der Hitze nochmals auszusetzen, und erhielten auf diesem Wege tatsächlich das von ihnen erwünschte schmiedbare Produkt. Die beiden Arten der Feuerverarbeitung besaßen aber einen wesentlichen Unterschied: im ersten Ofen mußte Brennmaterial in beträchtlichem Überschuß angewendet werden; der Ofen hatte eine reduzierende Atmosphäre, während bei der zweiten Verarbeitung das Brennmaterial sparsamer angewendet werden konnte, dagegen die Luftzuführung recht energisch eingerichtet werden mußte, die Flamme hatte also einen oxydierenden Charakter. Die Erfahrung lehrte bald, daß es auf diesem neuen Wege leichter gelang, eine gute Eisenqualität zu erzeugen und vor allen Dingen ein Material zu produzieren, welches die Eigenschaften des Stahls besaß. Da außerdem die Tagesproduktion der in der zweiten Art ausgerüsteten Hütten wesentlich höher stieg als diejenige der ursprünglichen einfachen Einrichtungen, so ist es erklärlich, daß sehr bald der im Prinzip den heutigen Eisenerzeugungsverfahren schon gleiche Weg —

Ausscheidung des Eisens aus den Erzen in der Form von Roheisen und Umwandlung des Roheisens in schmiedbares Eisen auf dem Wege des Frischens — die älteren direkten Verfahren verdrängte.

Diese Frischprozesse haben sich nun bis etwa zur Mitte des 19. Jahrhunderts erhalten. Ihre Ausübung erforderte aber immer noch die Anwendung von Holzkohlen als ausschließliches Brennmaterial; die Eisenhütten wurden deshalb zu Waldverwüstern, und zahlreiche Hütten mußten ihren Betrieb einstellen, weil in bevölkerten Gegenden die Holzmengen für andere, der damaligen Zeit wichtigere Verwendungszwecke vorbehalten bleiben mußten.

Für die Eisenhütten war es deshalb eine erlösende Tat, als es einem Engländer gelang, durch Veränderung der bis dahin angewendeten einfachen Ofenkonstruktion Steinkohle an die Stelle von Holzkohle beim Frischfeuerbetrieb zu setzen.

Hinsichtlich ihrer Verwendungsmöglichkeit für diesen Zweck unterscheiden sich die beiden Brennmaterialien dadurch, daß die Steinkohle mehr oder minder stark schwefelhaltig ist, während die Holzkohle diese Verunreinigung nicht enthält. Alle Versuche, die in der damaligen Zeit gemacht worden waren, Steinkohle an Stelle von Holzkohle zu verwenden, scheiterten, solange die Steinkohle mit dem zu frischenden Eisen in Berührung gebracht wurde, weil dieses Eisen dann Schwefel aus der Kohle aufnahm und für eine Weiterverarbeitung durch Schmieden unbrauchbar — rotbrüchig — wurde. Der geniale Erfindungsgedanke des englischen Hüttenmannes war an sich einfach. Er änderte die Ofenkonstruktion derart, daß er die Kohle vom Eisen trennte und nur die aus der hellbrennenden Kohle gebildete lange Flamme auf das Eisen einwirken ließ. Hierbei fand eine Übertragung von Schwefel nicht statt.

Gleichzeitig mit dieser Veränderung mußte auch die bisherige Arbeitsweise modifiziert werden; es wurde das zu frischende Roheisen in einem Herde eingeschmolzen, mit eisenoxydhaltiger Schlacke innig durchmischt, und dadurch eine Oxydation des im Roheisen zu reichlichen Kohlenstoffgehaltes bewirkt und dieses in schmiedbares Eisen umgewandelt. Der Prozeß erforderte ein andauerndes Rühren der Arbeiter mit eisernen Geräten — Gezähestücken — im Ofen und erhielt von dieser Rührtätigkeit nach dem englischen „to puddle“ den Namen „Puddelprozeß“. Auch heute befinden sich Puddelöfen noch in beschränkter Zahl in Tätigkeit. Die Leistungsfähigkeit dieses Puddelofens in der Tagesproduktion ist aber eine nur geringe und der Brennmaterialverbrauch relativ hoch. Am meisten hat aber zu seiner Verdrängung durch andere Prozesse der Umstand beigetragen, daß die körperliche Inanspruchname des Puddelarbeiters eine so außerordentlich große ist, daß die Lebensdauer dieser Hüttenleute relativ kurz wird und sich daher in der Gegenwart geeignete Kräfte überhaupt nicht mehr finden, die willens wären, diesen schweren Beruf zu ergreifen.

Es ist trotz aller Fortschritte der Technik nicht gelungen, bei der Durchführung dieses Prozesses die aufreibende Inanspruchnahme der menschlichen Arbeitskraft durch Einschaltung irgendwelcher mechanischer Bewegungsvorrichtungen zu ersetzen.

Auch im Puddelbetrieb kann der Prozeß ebenso wie bei den vorher erwähnten Frischfeuerarbeiten derartig geleitet werden, daß anstatt kohlenstoffarmen, weichen schmiedbaren Eisens Stahl erzeugt wird. Da dieses Produkt nun aber ebenso wie das schmiedbare Eisen auf dem Wege des Zusammenschweißens einzelner Partikelchen erzeugt wird, so hat man dem Erzeugnis den Namen „Schweißstahl“ gegeben, zum Unterschied von derjenigen Stahlerzeugung, bei der die Temperatur so hoch getrieben wird, daß das vollständige Flüssigwerden der gesamten Stahlmasse eintritt. Ein derartiges Produkt nennt der Hüttenmann „Flußstahl“. In den Zeiten der fast

ausschließlichen Herrschaft des Puddelprozesses besaß die Hüttenindustrie nicht diejenigen Mittel zur Temperaturerzeugung, die es ihr gestatteten, auch schmiedbares Eisen auf dem Wege der Verflüssigung der ganzen Masse zu gewinnen. Diese Möglichkeit hat erst die in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts stattgehabte Ausgestaltung der Hüttenprozesse gewährt, und von dieser Zeit an muß auch beim einfachen schmiedbaren Eisen zwischen einem Material unterschieden werden, welches auf dem Wege der Durchführung eines Schweißprozesses oder auf demjenigen der Durchführung eines Schmelzprozesses gewonnen worden ist.

Um hierin eine einheitliche und Mißverständnisse möglichst ausschließende Namengebung in der Eisenindustrie einzuführen, hat sich im Jahre 1876 bei Gelegenheit der Weltausstellung in Philadelphia ein Ausschuß hervorragender Hüttenleute der bedeutendsten eisenerzeugenden Länder dahin geeinigt, Qualitätsbezeichnungen für schmiedbares Eisen und Stahl einzuführen, wie sie in Tabelle 3 enthalten sind.

Tabelle 3.

SCHMIEDBARES EISEN.

Schmiedbar, in gewöhnlicher Temperatur weniger spröde als Roheisen. Beim Erhitzen allmählich bis zum Schmelzen erweichend, Gehalt an Kohlenstoff weniger als 2,6%.

1. Schweißeisen und Schweißstahl. Im nichtflüssigen, teigartigen Zustande erfolgend. Schlackenhaltig und aus zahlreichen, einzeln entstandenen, zusammengeschweißten Eisenkörnern bestehend.		2. Flußeisen und Flußstahl. Im flüssigen Zustande erfolgend. Praktisch — schlackenfrei.	
a) Schweißstahl.	b) Schweißeisen.	a) Flußstahl.	b) Flußeisen.
Kohlenstoffreicher (0,5% u. darüber); fest, hart.	Kohlenstoffärmer, weniger fest und weniger hart, aber zäher und geschmeidiger als Schweißstahl.	Kohlenstoffreicher (0,5% u. darüber); fest, hart.	Kohlenstoffärmer, weniger fest und weniger hart, aber zäher und geschmeidiger als Flußstahl.

In den ersten Zeilen der Tabelle wird schmiedbares Eisen in seinen Eigenschaften dem Roheisen gegenübergestellt. Man bezeichnet mit Schmiedbarkeit die Fähigkeit eines Metalles, in höherer Temperatur unter der Einwirkung äußerer Kräfte seine Form zu ändern, ohne daß hierbei der Zusammenhang der kleinsten Teilchen untereinander zerrissen würde. Roheisen besitzt diese Fähigkeit nicht. Es unterscheidet sich auch bei stärkerem Erhitzen in seinem Verhalten vom schmiedbaren Eisen, indem es, falls die Temperatur des Schmelzpunktes erreicht worden ist, unmittelbar in den flüssigen Zustand übergeht, während schmiedbares Eisen, ehe es flüssig wird, einen Übergangszustand durchläuft, in welchem es weich, bildsam, knetbar ist. Etwa bei einem Kohlenstoffgehalt von 2,6% liegt die Grenze zwischen diesen beiden Eisenarten. Eisen mit einem geringeren Kohlenstoffgehalt als 2,6% ist noch schmiedbar, während im allgemeinen Eisen mit einem höheren Kohlenstoffgehalt nicht mehr geschmiedet werden kann und daher eben zu den Roheisen gezählt wird.

Die schmiedbaren Eisen teilt man nun in zwei große Gruppen, je nach ihrer Entstehung auf dem Wege des Zusammenschweißens einzelner Körner oder auf dem Wege der Verflüssigung und des einheitlichen Wiedererstarrens derselben. Bei beiden Hauptgruppen macht man, wie in der Tabelle näher angeführt ist, wieder die Unterteilung zwischen Eisen und Stahl, indem man allgemein dasjenige Produkt, welches mehr als 0,5% Kohlenstoff besitzt, als Stahl bezeichnet.

Zur Erzeugung von Flußstahl in kleineren Mengen gelangte man schon ziemlich frühzeitig dadurch, daß Schweißstahl in Tiegeln geschmolzen wurde.

Schweißstahl und Schweißeisen sind ihren Herstellungsprozessen entsprechend Produkte, welche niemals durchaus gleichmäßig zusammengesetzt sind, insbesondere enthalten sie stets mehr oder minder erhebliche Quantitäten von Schlacke zwischen die einzelnen Eisenkörner eingelagert. Man führte das Schmelzen von Schweißstahl in Tiegeln ursprünglich zu dem Zwecke aus, um durch die Verflüssigung des Materials diese zwischengelagerten Schlackenteilchen zu entfernen und durch diese Operation zu einem Material von wesentlich höherer Qualität zu gelangen.

Tiegel werden aus feuerfestem Ton mit Beimengung von Koks oder Graphit hergestellt. Unsere edelsten feuerfesten Tone erweichen bei etwa 1700° C, während die Schmelztemperatur eines mäßig kohlenstoffhaltigen Stahles etwa bei 1400° liegt. Es genügt indessen nicht, den Stahl bis auf diesen Schmelzpunkt zu erwärmen, sondern er muß mindestens noch 150—200° höher temperiert werden, um genügend dünnflüssig zu sein, damit er nach Beendigung der Schmelzoperation in Formen gegossen werden kann. Es ist daher ohne weiteres ersichtlich, daß bei dieser Schmelzoperation das Tiegelmaterial bis auf die alleräußerste Grenze seiner Widerstandsfähigkeit in Anspruch genommen werden muß; deshalb wird in der Praxis jeder Tiegel tatsächlich nur einmal gebraucht. In den ersten 30 bis 40 Jahren nach Einführung des Tiegelstahlschmelzens erfolgte die Ausführung der Schmelzarbeit ausschließlich derart, daß man einen oder mehrere Tiegel, im Höchstmaß vielleicht vier, in einen kleinen Schachtofen einsetzte, sie mit Koks umgab und das Verbrennen desselben möglichst intensiv zu gestalten versuchte dadurch, daß man die Abgase des Ofens in einen entsprechend hoch und weit dimensionierten Schornstein leitete. Auch bei allerintensivster Ausführung der Schmelzarbeit erforderte die Fertigstellung einer Schmelzung eine Heizdauer des Ofens von 4—5 Stunden.

Die Größe des Tiegels ist begrenzt durch die Bedingung, daß der in höchster Temperatur befindliche Tiegel nebst Inhalt durch zwei Arbeiter, die ihn in eine eiserne Schere gesetzt haben, transportiert werden kann; deshalb ist es unmöglich, den Metallinhalt des einzelnen Tiegels höher als etwa 40—50 kg zu wählen.

Aus allen diesen Bedingungen geht hervor, daß die Erzeugung des flüssigen Stahls in Tiegeln recht beträchtliche Unkosten verursacht.

Tiegelstahl ist im allgemeinen nicht schweißbar. Es war deshalb eine Kunstleistung, die alle Welt im höchsten Maße bewunderte, als im Jahre 1865 die Gußstahlfabrik von Friedr. Krupp in Essen auf der Weltausstellung in London einen Block aus Tiegelstahl ausstellte, der einige 100 kg wog. Die Herstellung eines solchen Stückes war nur dadurch möglich geworden, daß langjährige Erfahrung Friedr. Krupp in die Lage versetzt hatte, den Schmelzprozeß im Tiegel derart zu leiten, daß die chemische Zusammensetzung des Produktes vieler Tiegel absolut gleichmäßig war, und ferner dadurch, daß es ihm gelang, die Schmelzoperation in seinen Öfen derart vollkommen zu beherrschen, daß in einer großen Zahl von Öfen zu genau gleicher Zeit der Schmelzprozeß beendet war. Durch eine entsprechende Zahl sorgfältigst geschulter Arbeiter wurden die Tiegel in regelmäßiger Folge aus den Öfen gehoben und nun unmittelbar einer hinter dem anderen in eine große Rinne entleert, aus welcher das Material in ununterbrochenem Strahl in die Form eintrat.

Sowie auch nur ein einziges Mal eine kleine Stockung in dem kontinuierlichen Zuströmen des flüssigen Materials eintrat, erstarrte eine feine Haut an dem oberen Rande des in der Form befindlichen Stahlniveaus und konnte durch später nachfließendes Material nicht wieder verflüssigt werden, weil eben die Temperatur des



Hochofenabstich.

Zu Mathesius: Erzeugung von Eisen aus Eisenerzen und seine Umwandlung zu schmiedbarem Eisen, Stahl oder Gießereierzeugnissen.



Abbildung 14. Firma Friedrich Krupp, Aktien-Gesellschaft in Essen-Ruhr: Blick in den Schmelzbau der Tiegelstahlgießerei während des Gießens eines großen Stahlblockes.

flüssigen Stahls im Tiegel nur um ein verhältnismäßig geringes Maß über den Erstarrungspunkt erhöht werden kann.

Abbildung 14 gewährt einen Blick in den Schmelzbau der Tiegelgußstahlfabrikation der Firma Friedr. Krupp in Essen a. d. Ruhr während der Ausführung eines Gusses.

Nur durch die außerordentlich feine Ausbildung des Verfahrens gelang es Friedrich Krupp, die viel bestaunten Gußstahlblöcke zu erzeugen.

Dieses Verfahren steht auch heute noch in Anwendung, um edelste Stahlgußstücke, beispielsweise Kanonenrohre, zu fertigen, nur findet in der Gegenwart die Erwärmung der Tiegel nicht mehr in kleinen Koksöfen statt, sondern in großen, mit Gasfeuerung betriebenen, einer den später zu beschreibenden Martinöfen ähnlichen Konstruktion, in deren jeden einige hundert Tiegel eingesetzt werden können.

Um ganz große Blöcke, wie sie heute die Herstellung größter Geschütze erfordert, zu erzeugen, müssen über 1000—2000 Tiegel zu gleicher Zeit den Schmelzprozeß beendet haben und genau wie früher hintereinander in ununterbrochenem Strahl ihren Inhalt in dieselbe Form entleeren.

Auf diese Weise kann natürlich nur das Material für kostbarste Erzeugnisse hergestellt werden. Die Hüttenleute mußten nach anderen Wegen Ausschau halten, um den Bedarf der Welt nach großen Mengen schmiedbaren Eisens zu decken, das auch hinsichtlich seiner Qualität das bis dahin erzeugte Schweißeisen wesentlich übertraf.

In diese Zeit der Entwicklung des Eisenhüttenwesens fällt die Erfindung der Eisenbahnen, die den Bedarf an Eisen in einem bis dahin ungeahnten Maße gesteigert hat.

Die ersten Eisenbahnschienen wurden naturgemäß aus gepuddeltem Eisen hergestellt, aber es zeigte sich sehr bald, daß der Puddelprozeß weder imstande war, die erforderlichen Mengen an Eisen zu liefern, noch ein Material zu erzeugen, welches den hier unvermeidlichen Anforderungen auf Widerstandsfähigkeit gegen Abnutzung zu entsprechen vermochte. Es war ein glückliches Zusammentreffen von ausschlaggebender Bedeutung für die weitere industrielle Entwicklung, daß nach sehr langwierigen Versuchen, deren Ausführung ein großes Vermögen gekostet hatte, es etwa um das Jahr 1860 herum endlich dem englischen Hüttenmann Sir Henri Bessemer gelang, flüssiges Roheisen dadurch in Stahl umzuwandeln, daß er Luft durch dasselbe hindurchblies. Es wurde bereits darauf hingewiesen, daß bei allen Frisch- oder Puddelprozessen die Umwandlung des Roheisens in schmiedbares Eisen durch Oxydation der Verunreinigungen des Eisens bewirkt wird, die dadurch aus diesem ausgeschieden und in die Schlacke des betreffenden Prozesses übergeführt werden. Bessemer zog aus dieser Erkenntnis und aus der bekannten Tatsache, daß bei der Verbrennung derjenigen Körper, die hier als Verunreinigung bezeichnet werden, mit Sauerstoff der atmosphärischen Luft erhebliche Wärmemengen entwickelt werden, die kühne Schlußfolgerung, daß bei zweckentsprechender Konstruktion der für die Ausführung eines solchen Prozesses erforderlichen Apparate es möglich sein müsse, die Oxydation der Verunreinigungen des Eisens durchzuführen unter Aufrechterhaltung des flüssigen Zustandes der Eisenmassen, während die hierfür erforderlichen Wärmemengen durch die Verbrennung der Verunreinigungen des Eisens geliefert werden. Sein Prozeß unterschied sich also von allen früheren Prozessen scharf dadurch, daß zur Durchführung der Frischarbeit die Hinzunahme eines Brennmaterials, wie früher Holz- oder Steinkohlen, nicht mehr erforderlich war.

Der Bessemerprozeß wird heute noch in Apparaten ausgeführt, wie sie Abbildung 15 zeigt. Ein birnenförmiges Gefäß, die Bessemerbirne genannt, ist, um eine mittlere Achse drehbar, in zwei großen Zapfen gelagert. Einer dieser Zapfen ist hohl und gestattet durch diese Ausführung dem Birnenboden Preßluft von 1 1/2—2 1/2 Atm. Spannung zuzuführen. Diese Luft tritt durch eine große Zahl feiner Öffnungen, die im Boden ausgespart sind, in das Innere der Birne und muß dabei die Eisenschicht durchdringen, welche in einer Höhe von ca. 3/4 m den Boden bedeckt. Die Energie des aus den feinen Bodenöffnungen ausströmenden Windes muß so groß sein und die Ausströmung muß so kontinuierlich erfolgen, daß niemals Eisen, der natürlichen Schwere folgend, von oben nach unten in diese Öffnungen hineindringen kann, da sie sonst sehr bald verstopft werden würden.

Um nun das Blasen beendigen oder vor Beginn des Blasens flüssiges Roheisen in die Birne einführen zu können, wird das Gefäß um die vorerwähnte horizontale Achse gedreht, so daß der Boden der Birne schräg aufwärts und die bisherige obere Halsöffnung annähernd horizontal gerichtet ist. In dieser Stellung vermag das Gefäß infolge der birnenartigen Ausbauchung diejenige Menge Roheisen aufzunehmen, die für die Ausführung der jeweiligen Charge bestimmt ist.

Die Drehung des Gefäßes wird mit Hilfe eines Zahnrades bewirkt, das auf der Verlängerung eines der horizontalen Zapfen aufgesetzt ist und seinerseits durch eine hydraulisch angetriebene Zahnstange bewegt wird. Nach Einführung des Roheisens, das entweder flüssig vom Hochofen zugeführt oder in besonderen Öfen geschmolzen

wird, in die Birne wird zunächst der Wind angestellt und dann die Birne aufgerichtet. Während des Drehens durchstreicht der Wind anfänglich dünne, allmählich immer dicker werdende Schichten des Eisens und reißt Mengen von Tropfen flüssigen Metalls mit sich, die nun als feuriger, zum Teil brennender Sprühregen durch die Halle des Stahlwerks getrieben werden. Hat die Birne ihre senkrechte Stellung erreicht, so schließt der Birnenhals annähernd an schornsteinartige Durchbrechungen des Hallendaches an, durch welche nunmehr die Flammen nach außen schlagen.

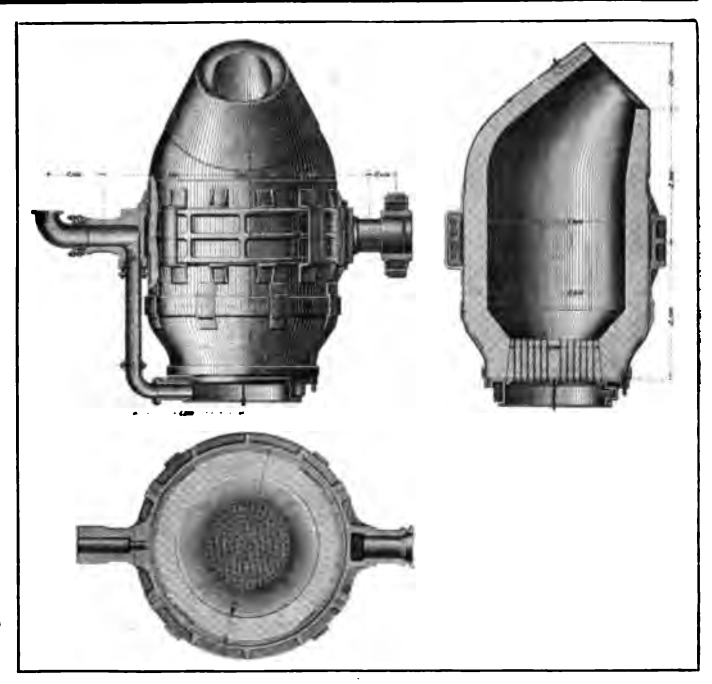


Abbildung 15. Thomasbirne.

Die gewaltigen Mengen der durch das Bad hindurchgetriebenen Luft bewirken nun einen äußerst raschen Verlauf der Oxydation der Verunreinigungen, so daß bereits nach einer Blasedauer von 12—18 Minuten die Umwandlung des Roheisens in schmiedbares Eisen beendet ist. Der Kohlenstoff des Roheisens ist fast vollkommen zu Kohlenoxyd verbrannt und in dieser Form mit dem Stickstoff der atmosphärischen Luft aus dem Birnenhals entwichen, während das Silizium des Roheisens zu Kieselsäure oxydiert ist und mit einem entsprechenden Anteil gleichfalls oxydierten Eisens eine Schlacke gebildet hat, die auf dem Eisenbade schwimmt und überwiegend aus kieselsaurem Eisenoxydul besteht.

Wenn das Blasen beendet und die Birne wieder umgelegt ist, wird die Schlacke zunächst von der Oberfläche des Bades abgegossen und das reine flüssige Metall in eine Gießpfanne entleert, die unter den Birnenhals gefahren wird; aus dieser wird es dann im Verlaufe der Fortführung des Prozesses in eiserne Formen — Kokillen — gegossen.

Infolge der stürmischen Oxydation ist nun nicht nur gerade soviel Eisenoxydul gebildet worden, als durch Verschlackung des Siliziums in die Schlacke übergeführt worden ist, sondern es ist auch das erzeugte schmiedbare Eisen als Lösungsmittel für Eisenoxydul in Tätigkeit getreten und hat sich mit diesem gesättigt. Ein derartiges Eisen würde, wenn es ohne weiteres einer anschließenden Verarbeitung zugeführt werden sollte, nicht brauchbar sein, sondern die Untugend der Rotbrüchigkeit besitzen und beim Schmieden oder Walzen den festen Zusammenhang seiner einzelnen Teile verlieren. Es ist deshalb nötig, die im Eisenbade gelöste Eisenoxydulmenge zu zerstören, das Eisenbad, wie der technische Ausdruck lautet, zu desoxydieren. Zu diesem Zwecke werden dem Bade entweder schon in der Birne nach Beendigung des Blasens oder in der Gießpfanne verschiedene Desoxydationsmittel, deren Auswahl je nach der beabsichtigten Weiterverarbeitung erfolgt, hinzugefügt. Als solche

verwendet man entweder manganhaltiges Roheisen, Spiegeleisen, Ferromangan oder Ferrosilizium in genau abgemessenen Mengen und führt hierdurch gleichzeitig dem Bade wieder diejenigen Mengen von Kohlenstoff zu, die erforderlich sind, um Eisen von der gewünschten Festigkeit zu erhalten.

Auf dem Wege des Bessemerprozesses ist man indessen nicht in der Lage, sämtliche Verunreinigungen aus dem Roheisen zu entfernen, sondern es bleiben diejenigen Mengen an Phosphor und Schwefel, die im Rohmaterial enthalten waren, vollkommen im Bade zurück. Man würde deshalb ein für die Weiterverarbeitung unbrauchbares Produkt erhalten, wenn man für den Bessemerprozeß Roheisen verwenden würde, welches Phosphor oder Schwefel in nennenswerten Mengen enthält.

Die Erfahrung lehrte, daß im Verlauf des Bessemerprozesses der in allen anderen Prozessen bisher ausschließlich als Brennmaterial und Heizstoff verwendete Kohlenstoff während seiner Oxydation in der Birne eine nennenswerte Erhöhung der Temperatur des Bades nicht zu bewirken imstande ist. Seine Heizkraft ist hierfür nicht ausreichend. Die Bemühungen Bessemers waren deshalb erst erfolgreich, als er zur Verarbeitung in der Birne ein Material verwendete, welches einen intensiver wirkenden Heizstoff in entsprechenden Mengen enthielt. Als solcher bewährte sich das Silizium. Der Bessemerprozeß kann deshalb nur mit einem Roheisen ausgeführt werden, welches gewisse, nicht allzu geringe Mengen von Silizium enthält. Ein solches Roheisen kann im Hochofenprozeß, wie früher dargelegt worden ist, leicht erzeugt werden, wenn der Hochofen mit heißem garem Gange betrieben wird.

Bei dieser Art des Hochofenbetriebes und unter Anwendung einer kalkreichen Schlacke wird aber im Kokshochofen ein Roheisen gewonnen, welches fast frei von Schwefel ist. Der Schwefel bereitete deshalb bei Einführung des Bessemerprozesses keinerlei Schwierigkeiten.

Bei dem erwähnten Hochofenprozeß wird indessen gleichzeitig mit dem Silizium auch sämtliche Phosphorsäure, die sich in den Erzen befindet, reduziert und als Phosphor in das Eisen übergeführt. Da dieser nun im Verlaufe des Bessemerprozesses nicht entfernt wird, war es nur möglich, brauchbares schmiedbares Eisen auf dem Wege des Bessemerprozesses darzustellen, wenn man phosphorfreies Roheisen in die Birne einführte und dementsprechend im Hochofen nur Erze verarbeitete, welche vollständig frei von Phosphorsäure waren.

Diese Bedingung war ein schwerwiegendes Hindernis für die allgemeine Einführung des Bessemerprozesses in die Eisenindustrie. England und Amerika besitzen allerdings ganz gewaltige Lagerstätten phosphorfreien Erzes. In dieser glücklichen Lage befindet sich dagegen Deutschland nicht, sondern die deutschen Eisenerze enthalten fast alle mehr oder minder große Mengen von Phosphorsäure. Wollten die deutschen Eisenhüttenleute den Bessemerprozeß in ihre Betriebe einführen, so blieb ihnen nichts anderes übrig, als phosphorfreie Erze aus dem Ausland zu beziehen.

Dieser Notwendigkeit trugen hervorragende deutsche Eisenwerke, z. B. die Firma Friedr. Krupp in Essen und der Bochumer Verein in Bochum, Rechnung, indem sie mit großen Geldopfern geeignete Erzlagerstätten in Spanien käuflich erwarben, um diese Erze dann auf dem Wasserwege über Rotterdam und den Rhein, sowie die Rheinhäfen in Duisburg und Ruhrort, nach Deutschland zu überführen. Dieser Ausweg, den die genannten kapitalkräftigen deutschen Firmen wählen mußten, war indessen kleineren Firmen verschlossen, und die Folge war, daß in Deutschland noch immer nicht diejenige Menge von schmiedbarem Eisen erzeugt werden konnte, die

die Einführung der Eisenbahn und die steigende Anwendung des Eisens in anderen Gewerben erforderte.

Wir sehen in den Jahren 1860 bis etwa 1880 in dem Schaubild Nr. 1 der vorliegenden Darstellung ein gewaltiges Ansteigen der Roheisenerzeugung Großbritanniens, während die deutsche Industrie hiergegen erheblich zurückblieb.

In der damaligen Zeit war die Überlegenheit des englischen Eisengewerbes gegenüber dem deutschen so stark, daß ein gewaltiger Import von schmiedbarem Eisen nach Deutschland stattfand, das durch die finanzielle Einwirkung des neuen vervollkommneten Erzeugungsverfahrens zu Preisen geliefert werden konnte, die die deutsche Eisenindustrie vollständig zu erdrücken drohten.

Überall im Lande mußten aus Mangel an Beschäftigung die Hochöfen ausgeblasen werden, und die Werke wurden stillgelegt.

Wir verdanken die Erhaltung der deutschen Eisenindustrie zwei damals zeitlich zusammentreffenden glücklichen Umständen. Es gelang einsichtigen, mit den Verhältnissen vertrauten Hüttenleuten, die Aufmerksamkeit Kaiser Wilhelms I. und des Fürsten Bismarck für die Notlage der deutschen Eisenindustrie zu gewinnen, und deren Initiative verdanken wir die damalige Einführung der Eisenzölle, die den Inlandpreis für Eisen wenigstens wieder so weit zu erhöhen gestatteten, daß die deutsche Eisenindustrie ein wenig aufatmen konnte; aber diese Erleichterung der Situation würde nicht zur heutigen Blüte der deutschen Eisenindustrie haben führen können, wenn nicht gleichzeitig eine wiederum englische Erfindung den deutschen Eisenindustriellen eine Erlösung aus ihrer fast unhaltbaren Position gebracht hätte.

Sir Henri Bessemer hatte seine Birne mit dem üblichen Material der damaligen hüttenmännischen Prozesse, mit Steinen aus feuerfestem Ton, ausgekleidet, und der Charakter des Prozesses war deshalb, wie die hüttenmännische Sprache sich ausdrückt, ein „saurer", d. h. ein solcher, in welchem Schlacke gebildet wurde, in der die Kieselsäure den überwiegenden Bestandteil bildete. Diese Tatsache war die Ursache dafür, daß der etwa im Roheisen vorhandene Phosphor nicht in Phosphorsäure umgewandelt werden konnte.

Das hatten die Engländer Thomas und Gilchrist erkannt und bemühten sich deshalb, den Bessemerprozeß derart abzuändern, daß durch schon vor Beginn des Blasens in die Birne eingeführte entsprechend große Mengen von Kalk basische Schlacke gebildet wurde, denn sie hatten erkannt, daß dann im Verlauf der Oxydation auch der Phosphor aus dem Eisen entfernt werden konnte.

Die langjährigen Bemühungen der Erfinder hatten erst Erfolg, als sie nach vielen vergeblichen Versuchen gelernt hatten, die Birne nicht mehr mit saurem Schamottematerial, sondern mit Steinen aus basischer Masse, aus Kalk oder Dolomit auszufüttern. Lediglich die Verwendung des letzteren Materials ergab eine auf die Dauer haltbare Auskleidung; es werden deshalb zum Zweck der Durchführung dieses Prozesses die Birnen mit Steinen aus scharf gebranntem Dolomit ausgemauert. Als Bindemittel verwendet man bei der Herstellung der Steine einen vollkommen wasserfreien Teer. Das Jahr 1879, in dem diese Erfindung der Herren Thomas und Gilchrist veröffentlicht wurde, bildet einen dauernd denkwürdigen Markstein in der Entwicklung gerade der deutschen Eisenindustrie, denn der neue Prozeß, in der Folge kurz „Thomasprozeß" genannt, ist in keinem Lande der Welt auch nur annähernd in so außerordentlich großem Maße zur Anwendung gelangt wie in Deutschland, denn nirgendwo fanden sich die sehr großen Mengen phosphorsäurehaltiger Erze, die überdies verhältnismäßig billig zu gewinnen und zu verhütten waren, wie hier in Deutsch-

land. In allererster Linie stammen diese Erze auch heute noch aus den großartigen Ablagerungen der Minette in Elsaß-Lothringen, und es ist eine der segensreichsten Folgen des 1870er Krieges, daß damals die Landstriche, die diese wertvollen Ablagerungen enthalten, wieder in deutschen Besitz gebracht worden sind.

Zur Zeit seiner Einführung wurde der Thomasprozeß durchgeführt unter Anwendung von Birnen oder Konvertoren von wenigen Tonnen Inhalt, während deren Fassungsraum in der Gegenwart auf das Vielfache, häufig bis zu einer Chargengröße von 24 Tonnen, erhöht worden ist.

Diese gewaltigen Apparate werden meist zu vier vollkommen gleichartig gebauten Exemplaren in einer Reihe nebeneinander angeordnet. Das Gebäude, welches dazu bestimmt ist, sie aufzunehmen, die Konverterhalle, pflegt eines der imposantesten Bauwerke moderner Hütten zu sein.

Die Abbildung 16 gewährt uns einen Einblick in eine derartige Halle, deren Montage so weit vorgeschritten ist, daß demnächst die Aufstellung der Konvertoren selbst erfolgen kann. In Abbildung 17 erblicken wir einen Teil derselben Halle während des Einbaues der Konvertoren, und Abbildung 18 gewährt einen Überblick über die gleiche Halle, während sich die Anlage in vollem Betriebe befindet.

Die tägliche Erzeugungsmenge eines derartigen Thomasstahlwerkes ist außerordentlich groß.

Ein Blick auf den auf Seite 131 zur Darstellung gebrachten Stammbaum der deut-

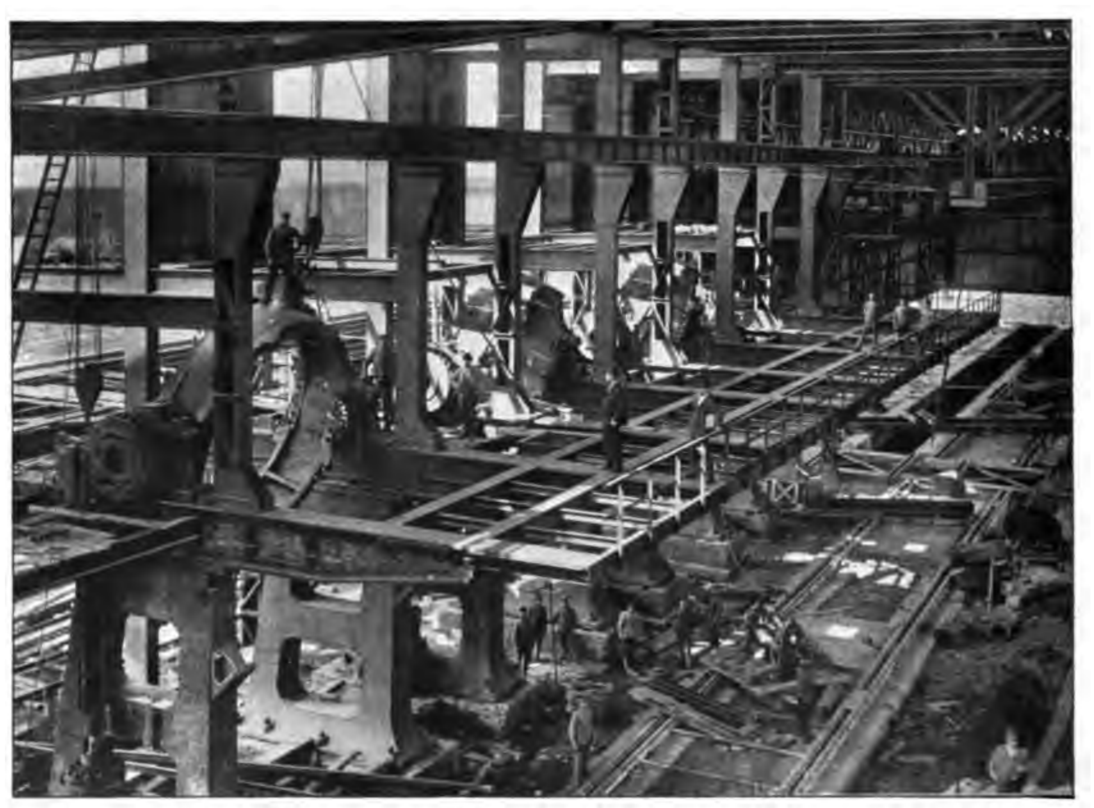


Abbildung 16. Jünkerather Gewerkschaft in Jünkerath (Rheinland): Konverteranlage der Gelsenkirchener Bergwerks-Akt.-Ges. Rote Erde bei Aachen während der Montage.



Abbildung 17. Jünkerather Gewerkschaft in Jünkerath (Rheinland): Montage der Konvertoren in der Halle der Abbildung 16.

schen Eisenindustrie lehrt, daß gegenwärtig etwa 2/3 des gesamten in Deutschland erzeugten Roheisens auf dem Wege des Thomasprozesses in Flußeisen umgewandelt wird.

Der Thomasprozeß unterscheidet sich vom Bessemerprozeß in der Betriebsführung hauptsächlich dadurch, daß die Beendigung des Blasens nicht schon dann erfolgen darf, wenn aus gewissen Anzeichen erkannt werden kann, daß fast sämtlicher Kohlenstoff, der im Bade enthalten war, verbrannt worden ist, sondern daß dann noch eine gewisse Zeitlang, meistens mehrere Minuten hindurch, weiter Wind durch das Bad geblasen werden muß, da erst in dieser Periode des Prozesses die Hauptmenge des Phosphors zu Phosphorsäure oxydiert und dadurch aus dem Eisen in die Schlacke übergeführt wird. Durch günstige Zusammensetzung des Roheisens wird eine Schlacke erhalten, welche etwa 17—20% Phosphorsäure enthält, und die Menge der Schlacke, die bei diesem Verfahren fällt, beträgt etwa 1/4 der Menge des Stahls, der gleichzeitig erzeugt wird.

Der hohe Phosphorsäuregehalt der Thomasschlacke und die Tatsache, daß die Phosphorsäure aus der fein gemahlenen Schlacke, wenn sie dem Ackerboden zugeführt wird, von den Pflanzen aufgenommen werden kann, ermöglichen es, die großen Quantitäten an Thomasschlacke, welche die deutsche Eisenindustrie produziert, der Landwirtschaft als wertvolles Düngemittel zuzuführen. Der Eisenindustrie erwächst aus dieser Verwertbarkeit der Schlacke eine beträchtliche Nebeneinnahme, deren

Erlös heute auf den Betrag von 5 M. pro 1000 kg erzeugten Thomasstahls angenommen werden kann. Da die Schlacke des Bessemerprozesses in diesem Sinne nicht verwendbar ist, so stellen sich die Erzeugungskosten von Thomasstahl niedriger als diejenigen von Bessemerstahl, obgleich die Durchführung des Thomasprozesses an sich etwas teurer sein dürfte als diejenige des Bessemerprozesses. Die Verhältnisse für die Erzeugung des Thomasstahls liegen aber auch noch nach einer anderen Richtung hin günstiger als für die des Bessemerstahls.

Es ist bei der Erörterung des Bessemerprozesses dargelegt worden, daß bei der Durchführung desselben derjenige Brennstoff, der den Wärmeaufwand des Prozesses deckt, das im Roheisen enthaltene Silizium ist, und daß deshalb der Hochofenprozeß, in welchem Bessemerroheisen erzeugt werden soll, in einem hoch temperierten Gange des Hochofens geführt werden muß und einen relativ großen Aufwand an Koks erfordert. Beim Thomasprozeß tritt als neuer Brennstoff an Stelle des Siliziums der Phosphor in Erscheinung, da die Oxydation des Phosphors in der Birne mit einem ähnlich hohen thermischen Effekt vor sich geht wie die Oxydation des Siliziums.



Abbildung 18. Jünkerather Gewerkschaft in Jünkerath (Rheinland): Thomaswerk der Abbildungen 16 und 17 im Betrieb.

Im Hochofen wird nun, wie bereits oben hervorgehoben ist, bei jedem Gange des Hochofens fast sämtliche Phosphorsäure, die sich in der Beschickung befindet, in das Eisen übergeführt. Es braucht deshalb zur Erzeugung von Thomasroheisen

der Hochofen nicht besonders heiß betrieben zu werden, sondern man kann die Temperatur so niedrig halten, als es die Schmelzbarkeit der Schlacke eben gestattet.

Diese Führung des Hochofenganges ermöglicht, mit einem geringeren Koksverbrauch zu arbeiten und bietet den weiteren Vorteil, daß die Durchsatzzeit des Möllers durch den Hochofen wesentlich geringer gehalten werden kann als bei der Erzeugung von Bessemerroheisen, bei der die schwierig durchzuführende Reduktion der Kieselsäure einen langsameren Gang des Ofens erfordert. Das hat zur Folge, daß die Tagesleistung eines Hochofens, der auf Thomasroheisen betrieben wird, sehr erheblich viel größer ist, als wenn Bessemerroheisen geblasen wird, und das ist ein weiterer Umstand für die Verbilligung des ersteren Produktes.



Abbildung 19. Jünkerather Gewerkschaft in Jünkerath (Rheinland): Roheisenpfannenwagen.

Dieser Vorteil fiel indessen den deutschen Hüttenleuten nicht mühelos in den Schoß. Wir haben bei der Erörterung des Hochofenprozesses gesehen, daß bei der Erzeugung des grauen Roheisens und einer geeigneten Schlackenführung fast aller in der Beschickung vorhandener Schwefel in die Schlacke übergeht, während beim Erblasen von weißem Roheisen ein sehr beträchtlicher Anteil desselben in das Eisen übertritt. Da das Thomasroheisen zu den kalt erblasenen weißen Eisensorten gehört, enthält dasselbe bei normalem Gange des Hochofens unvermeidlich erhebliche Mengen von Schwefel. Von diesem wird nun im Verlauf des Thomasprozesses trotz des außerordentlich basischen Charakters der Schlacke nur etwa die Hälfte verschlackt, während die andere Hälfte im Stahl zurückbleibt. Da dieser aber, wenn er im weiteren Verlauf des hüttenmännischen Prozesses gut verarbeitbar sein soll, nicht mehr als etwa 0,03 % Schwefel enthalten darf, so befanden sich die deutschen Hüttenleute im Anfang der Einführung des Thomasprozesses der unlösbaren Aufgabe gegenüber, in einem billigen Hochofengange ein schwefelarmes Roheisen mit nicht mehr als 0,06 % Schwefel zu erzeugen. Aus dieser schwierigen Lage befreite sie erst eine Erfindung des damaligen Oberingenieurs Gustav Hilgenstock in Hörde, die gestattete, das Roheisen auf dem Wege zwischen Hochofen und Stahlwerk von dem weitaus größten Teil dieses Schwefels zu befreien.

Es wurde schon bei der Erörterung des Hochofenprozesses hervorgehoben, daß in der Gegenwart das zur Umwandlung in Flußeisen oder Flußstahl bestimmte Roheisen, wenn die örtlichen Verhältnisse es irgend gestatten, den Stahlwerken vom Hochofen in flüssiger Form zugeführt wird. Wollte man diese Einführung direkt vom Hochofen aus vornehmen, d. h. also das Roheisen von jedem einzelnen Hochofen, so, wie es durch den Abstich gewonnen worden ist, in großen Pfannenwagen (Abbildung 19)

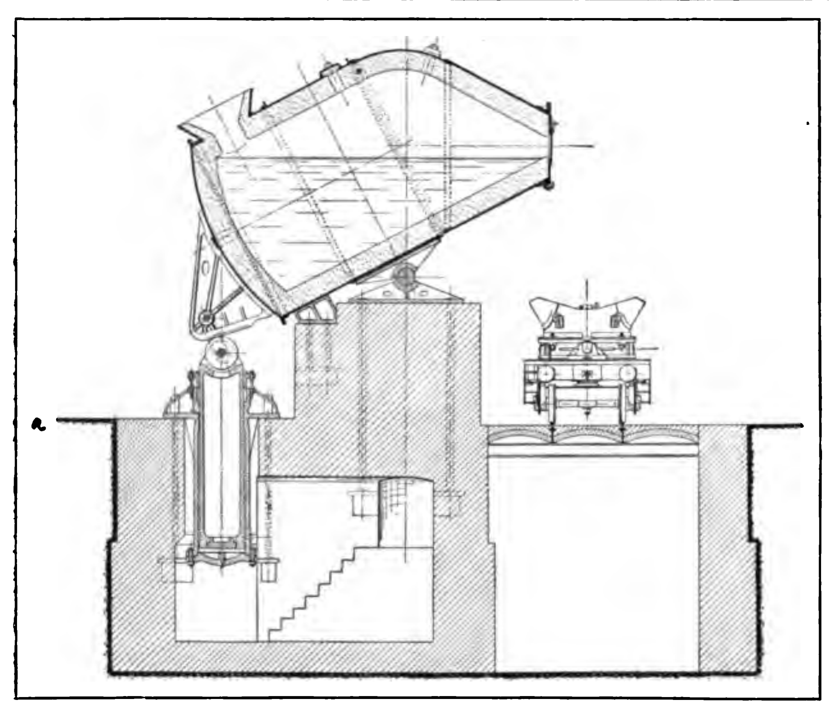


Abbildung 20. Jünkerather Gewerkschaft in Jünkerath (Rheinland): Roheisenmischer für 200 Tonnen Inhalt.

zum Stahlwerk fahren und dort in die Birne führen, so würde der Stahlerzeugungsprozeß empfindlich beeinträchtigt werden durch die unvermeidlichen Schwankungen in der chemischen Zusammensetzung des Roheisens, die durch den nun einmal nicht konstant zu haltenden Gang des Hochofens bedingt werden.

Deshalb war von amerikanischen Hüttenleuten zwischen dem Hochofenwerk und Stahlwerk ein neuer Apparat eingeschaltet worden, den man „Roheisenmischer" nannte, und der die Aufgabe hatte, das Eisen der verschiedenen Hochöfen aufzunehmen, um dadurch eine ausgleichende mischende Wirkung auszuüben. Von ihm aus wurde dann erst das flüssige Eisen wieder dem Stahlwerke zugeführt.

In den Abbildungen 20 und 21 sind Roheisenmischer verschiedener Bauart zur Darstellung gebracht. Abbildung 22 zeigt einen Mischer während der Aufstellung im Hüttenwerk. Abbildung 23 gewährt einen Blick auf die obere Bedienungsbühne zweier Mischer, an deren einem gleichzeitig eine Transportpfanne für Roheisen zu sehen ist in derjenigen Stellung, in welcher sie sich befindet, wenn aus ihr Roheisen in den Mischer eingegossen wird. Abbildung 24 zeigt einen Mischer vom Hüttenflur aus gesehen. In die vor dem Mischer hängende Pfanne soll aus dem ersteren Roheisen eingegossen werden, um dasselbe nach den Konvertoren zu transportieren.

Da es sich in Amerika fast ausschließlich um die Durchführung des Bessemerprozesses handelte, wurde dort dem Mischer schon an und für sich schwefelfreies Eisen zugeführt, es konnte daher eine Einwirkung der Mischerprozedur auf den Schwefelgehalt nicht stattfinden.

Als nun aber dieser neue Apparat, der damals mit einem Fassungsvermögen von 200—250000 kg gebaut wurde, den man jetzt aber mit einem Fassungsinhalt von 500000—1000000 kg ausführt, für die Aufspeicherung von Thomasroheisen verwendet wurde, zeigte sich in Hörde, daß eine bis dahin noch nicht beobachtete Schlacke auf dem Eisenbade sich absonderte, deren chemische Untersuchung ergab, daß sie überwiegend aus Schwefelmangan bestand. Eine einfache logische Folgerung ergab, daß infolge dieser Schlackenbildung der Schwefelgehalt des Roheisens vermindert werden konnte. Diese Abscheidung des Schwefels vollzieht sich besonders günstig, wenn das

Roheisen einen nicht zu geringen Gehalt an Mangan besitzt. Es gelingt dann, in dem Mischer etwa die reichliche Hälfte des in dem vom Hochofen gelieferten Eisen befindlichen Schwefels abzuscheiden. Durch Einschaltung des Mischers sind die deutschen Hüttenleute nun in der Lage, in ihren Hochöfen ein Eisen mit ca. 0,12 % Schwefel zu erblasen und doch ein Thomasflußeisen zu erzeugen, das nicht mehr als 0,03 % Schwefel besitzt.

Erst durch die Einschaltung des Mischerprozesses wurde daher der Thomasprozeß für die deutschen Verhältnisse in dem erfreulichen Maße anwendbar, dessen Bestehen wir bereits konstatiert haben.

Es ist naturgemäß, daß die Durchbildung des immerhin nicht einfachen Prozesses bis zu der heute erreichten Vollkommenheit eine lange Reihe von Jahren angestrengter Arbeit der Hütteningenieure erforderte. Anfänglich betrug das Fassungsvermögen der Birnen nur wenige Tonnen, während man diese in neuester Zeit bis zu einer Größe von 24 t gesteigert hat; anfänglich begnügte man sich, Stahlwerke mit zwei bis höchstens drei Birnen auszurüsten, während heute meist vier dieser großen Apparate zur Verfügung stehen; anfänglich blies man mit einer verhältnismäßig niedrigen Windspannung, und die Windmenge, die in der Zeiteinheit durch die relativ schwachen Gebläsemaschinen geliefert werden konnte, war gegenüber den heutigen Verhältnissen, wo Gebläsemaschinen von 2—3000 P.S. zur Verfügung stehen, unbedeutend.

Die natürliche Entwicklung war daher die, daß im Beginn der Einführung des Thomasprozesses die Erzeugungsmenge des einzelnen Werkes zwar gegenüber den Zeiten des Puddelprozesses schon erheblich gesteigert wurde, daß aber erst die heutigen modern eingerichteten Thomaswerke bei vollem Betriebe Quantitäten von ein bis zwei Millionen kg Thomasflußeisen im Tage zu erzeugen vermögen.

Aus diesem Wechsel der Betriebsverhältnisse heraus wird nun erst verständlich, wie es möglich gewesen ist, daß die Produktionsmengen des von der Eisenindustrie

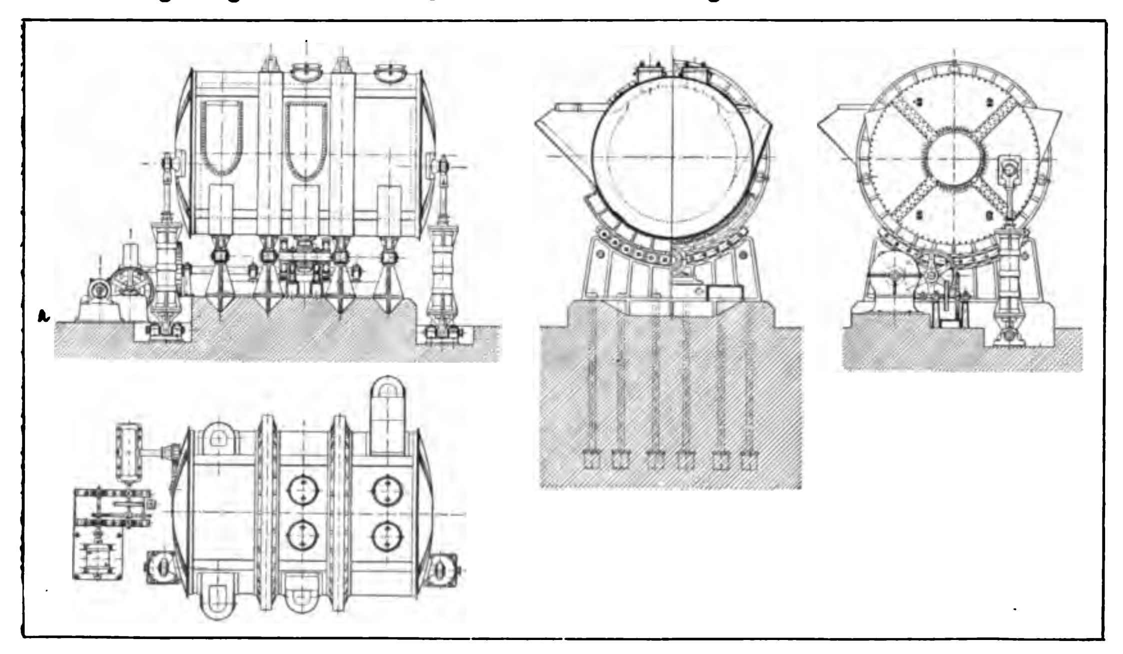


Abbildung 21. Jünkerather Gewerkschaft in Jünkerath (Rhl.): Roheisenmischer für 500 Tonnen Inhalt.



Abbildung 22. Gutehoffnungshütte in Oberhausen (Rheinland): Roheisenmischer während der Aufstellung im Hüttenwerk.

erzeugten und in Flußeisen umgewandelten Roheisens von Jahr zu Jahr in dem gewaltigen Maße gestiegen sind, wie dies aus dem Schaubild Nr. 1 hervorgeht.

Es wird aber auch in gleicher Weise aus der erwähnten Umgestaltung der geschilderten Betriebsverhältnisse nunmehr erklärlich, wodurch bedingt worden ist, daß die Unkosten der Umwandlung von Roheisen in schmiedbares Eisen im Laufe der Jahre stets geringer wurden, wie dies auch aus dem Schaubild Nr. 5 hervorgeht, obgleich innerhalb dieses Zeitraumes die von der Eisenindustrie zu zahlenden Löhne und die ihr aufgebürdeten Lasten sich auf den vielfachen Betrag früherer Zeiten erhöht haben.

Mit der Entwicklung und Ausgestaltung des Bessemer- und Thomasprozesses an Stelle der älteren Verfahren zur Erzeugung von schmiedbarem Eisen hatte indessen die Entwicklung der Eisenindustrie während der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts noch nicht ihr Ende erreicht. Es lagen vielmehr zwingende hüttenmännische Notwendigkeiten vor, diesen beiden Prozessen noch eine Ergänzung zu geben.

Das in den älteren Prozessen erzeugte schmiedbare Eisen war aus der Natur des Prozesses heraus mit der Eigenschaft der Schweißfähigkeit ausgestattet. Man machte von dieser einen umfänglichen Gebrauch, indem man beim Weiterverarbeiten des Eisens die auszuschmiedenden oder zu verwalzenden Metallmengen stets auf dem Wege des Zusammenschweißens aus einer größeren Zahl kleinerer Stücke zu einem Arbeitsstück der erforderlichen Größe vereinigte.

Diese leichte Schweißbarkeit des Materials ermöglichte es nun auch, Abfallstücke aller Art, die beispielsweise auch beim Walzen unvermeidbar entstehen, oder für diese Zwecke besonders käuflich erworbene Mengen von Altmaterial durch einfaches Pakettieren und Einsetzen in Schweißöfen von neuem zur Verarbeitung zu bringen.

Es war für die allgemeine Einführung des Bessemerprozesses ein arges Hindernis, daß das auf diesem Wege erzeugte Material eine derartige Schweißbarkeit nicht mehr besaß.

Es mußte deshalb von vornherein das flüssige schmiedbare Eisen in Formen gegossen werden derart, daß Blöcke derjenigen Größe entstanden, die für die Weiterverarbeitung geeignet waren. Die gleichzeitige Mitverarbeitung von Altmaterial, von Walzwerksabfällen und dergleichen mußte indessen unterbleiben, da eben die Schweißbarkeit des neuen Materials, des Flußeisens, für diese Art der Verarbeitung nicht ausreichte.

Auf den Stahlwerken häuften sich deshalb gewaltige Mengen von Abfällen an, für deren Weiterverarbeitung der richtige Weg noch nicht gefunden war. Es lag nahe, diese Materialien wiederum auf dem Wege des Einschmelzens zu verflüssigen und wieder zu Flußeisenblöcken von entsprechender Größe zu vereinigen. Für diese Arbeit reichte indessen die in den bis dahin bekannten Ofenkonstruktionen erzielbare Temperatur nicht aus, da weiches, kohlenstoffarmes Flußeisen im allgemeinen erst bei ca. 1500° C schmilzt und zum Zwecke der Formgebung durch Gießen möglichst noch



Abbildung 23. Gutehoffnungshütte in Oberhausen (Rheinl.): Roheisenmischer mit Bedienungsbühne.

um etwa 150° höher temperiert werden muß. Die damaligen hüttenmännischen Öfen waren Konstruktionen, bei denen, ähnlich wie beim Puddelofen, von einem großen Roste, der mit Steinkohle beschickt wurde, eine Flamme über einen zu erwärmenden Herd geleitet wurde. Mit derartigen Öfen ist man höchstens in der Lage, dem zu schmelzenden Material eine Temperatur von ca. 1400° C zu geben. Es mußten also neue Ofenkonstruktionen geschaffen werden, um mit deren Hilfe wesentlich höhere Temperaturgrade erreichen zu können, als dies bisher möglich war. Der Weg zu diesem Ziel war in wissenschaftlicher Erkenntnis vorgezeichnet durch die Erfolge, welche die Einführung der Erwärmung der Verbrennungsluft bei dem Hochofen gezeitigt hatte.

Die hüttenmännische Welt hatte aus dieser Verbesserung des Hochofenprozesses erkannt, daß diejenige Wärmemenge, die einem Feuer auf diesem Wege zusätzlich übermittelt wird, unmittelbar in einer fast proportionalen Steigerung der erreichten Temperatur zur Wirkung gelangt. Von allen Konstruktionen, die auf diesem Gebiete damals vorgeschlagen wurden, bewährte sich indessen nur eine einzige: das war die von Fried. Siemens in Dresden ausgebildete Erwärmung der Verbrennungsluft, derart, daß man die Abhitze der betreffenden Öfen in gemauerten Kammern auffing, die mit einem Gitterwerk feuerfester Steine ausgefüllt waren, und daß man, nachdem eine gewisse Zeitlang diese Aufspeicherung stattgefunden hatte, durch die hocherhitzten Kammern die Verbrennungsluft leitete, während die Abgase durch eine zweite Kammer zu dem Schornstein strömen konnten.

Eine derartige neue Heizungsart ließ sich nun praktisch brauchbar nur bei der Anwendung von Gasfeuerungen ausbilden. Man mußte also gleichzeitig dazu übergehen, die Brennmaterialien nicht mehr unmittelbar auf einem an den zu erwärmenden Herd angebauten Roste zu verbrennen, sondern sie in besonderen, Generatoren genannten Apparaten in Gas zu verwandeln und hiermit die Öfen zu heizen.

Fried. Siemens wendete seine neue geniale Konstruktion mit großem Erfolg zunächst zur Beheizung von Öfen an, in denen Glas geschmolzen wurde, und überließ seinem Bruder William Siemens in London die Aufgabe, diese neue Beheizungsart in die Betriebe der Eisenindustrie einzuführen.

Aber auch William Siemens hat mit seinen Bemühungen einen ausschlaggebenden Erfolg nicht erreicht. Es gelang erst den Gebr. Martin in Sireul in Frankreich, einen brauchbaren Betrieb zur Erzeugung von Flußeisen auf diese Weise durchzuführen. Das ist die Ursache, weshalb nach ihnen die durch sie entwickelte Ofenform „Martinofen“ und der neue Prozeß „Martinprozeß“ genannt wurde.

Auch dieser Prozeß hat im Laufe der Jahre in ähnlicher Weise wie der Bessemer- und Thomasprozeß erst diejenige Ausgestaltung erhalten, die ihn in der Jetztzeit zu einem ebenbürtigen Bruder der beiden älteren Verfahren hat heranwachsen lassen. Die ersten Martinöfen besaßen ein Fassungsvermögen von wenigen 1000 kg, während in der Gegenwart als Normalgröße ein Ofen mit einen Inhalt von 30—50000 kg angesehen wird, und in besonderen Fällen die Dimension dieser Apparate so weit gesteigert worden ist, daß in ihnen 250000 kg oder mehr Eisen flüssig erhalten werden können.

In der Abbildung 25 ist in großen Zügen die Einrichtung eines Martinofens zur Darstellung gebracht worden. Das in dem Herde zu verarbeitende Material wird in fester oder flüssiger Form durch die Einsatztüren in denselben eingeführt. Über dieses Material hinweg schlagen in der Längsrichtung des Herdes die Flammen, die dadurch gebildet werden, daß die aus den unterhalb des Herdes liegenden Vorwärmekammern



Abbildung 24. Gutehoffnungshütte in Oberhausen (Rhl.): Roheisenmischer vom Hüttenflur aus gesehen.

aufsteigenden Ströme von Generatorgas und Luft nicht weit von ihrer Ausströmungsstelle zusammentreffen, sich mischen und dadurch die Verbrennung der im Gase befindlichen brennbaren Bestandteile ermöglichen.

Die Verbrennungsprodukte werden auf der gegenüberliegenden Seite des Herdes nach dem zweiten Paar Siemensscher Regenerativkammern geführt und erwärmen nun ihrerseits das diese Kammern füllende Gitterwerk aus feuerfesten Steinen auf höhere Temperatur.

Je nach den Fortschritten des im Herde durchzuführenden Schmelzprozesses wird nun durch Umschalten von Steuerorganen, durch welche jenseits der Regenerativkammern sowohl die in den Ofen einströmenden Generatorgase und Luft als auch die zum Schornstein streichenden Abgase passieren müssen, die Strömungsrichtung derselben in Zeitintervallen von 1 Stunde, 1/2 Stunde oder in noch kürzeren Perioden gewechselt, so daß dann die Flamme den Herd in umgekehrter Richtung durchstreicht.

Die Temperatur wird in den Öfen so hoch gesteigert, als das zur Herstellung der Ofenwandungen und Gewölbe verwendete feuerfeste Material nur irgend gestattet. Trotzdessen erfordert der Verlauf einer Charge eine Zeitdauer von 5—7 Stunden, so

daß ein Ofen im allgemeinen in einem Tage nicht mehr als vier Schmelzoperationen durchzuführen vermag.

Die Produktionsfähigkeit eines Martinofens ist deshalb in der Zeiteinheit auch nicht annähernd so groß wie die einer Bessemer- oder Thomasbirne, und überdies erfordert der Betrieb eines Martinofens dauernd die Zuführung beträchtlicher Mengen von Heizmaterial. Es kann im allgemeinen angenommen werden, daß für die Fertigstellung von 1000 kg Martinstahl ein Kohlenaufwand von 170—250 kg notwendig ist. Diesem Nachteil des Martinofens gegenüber der Bessemer- oder Thomasbirne steht aber eine sehr beträchtliche Zahl von Vorzügen entgegen.

Der Bessemer- oder Thomasbetrieb kann mit ökonomisch günstigem Erfolge nur ausgeführt werden von einem großen Hüttenwerke unter gleichzeitiger Inbetriebhaltung des komplizierten Apparats, der gekennzeichnet wird durch die Stichworte: Hochofen, Mischer und Stahlwerksbetrieb mit umfänglichen Gebläsemaschinen usw.

Demgegenüber ist der Martinofenbetrieb vollkommen selbständig für sich durchführbar. Es ist nur erforderlich, dem Ofen aus einer Generatoranlage die notwendigen Heizgasmengen zuzuführen. Die Bewegung der Gase bewirkt der Schornsteinzug.

Ein Martinofen von 50000 kg Herdinhalt liefert täglich ca. 200000 kg Stahl. Es ist deshalb nur eine Nebeneinanderreihung von 5—8 derartiger Öfen erforderlich, um zu der Tagesproduktion eines großen Bessemer- oder Thomasstahlwerkes zu gelangen; dabei ist der Flächenraum, den diese Öfen nebst allem Zubehör einnehmen, nicht größer als derjenige, der für die Errichtung eines Bessemer- oder Thomasstahlwerkes ohne Hochofenanlage notwendig ist. Ferner ist die Durchführung eines Bessemer- oder Thomasbetriebes an das Vorhandensein von Roheisen einer bestimmten Qualität unerläßlich gebunden, während im Martinofenbetrieb ziemlich jegliches Material verarbeitet werden kann.

Der Martinofenbetrieb wurde ursprünglich genau wie seinerzeit der Bessemerbetrieb nur mit Öfen von saurer Auskleidung durchgeführt, und erst nachdem man aus den Erfahrungen des Thomasbetriebes heraus gelernt hatte, den Herd des Martinofens aus basischem Material herzustellen, wurde ihm die Fähigkeit verliehen, auch aus phosphorhaltigem Rohmaterial erstklassiges schmiedbares Eisen darzustellen.

Wie im Beginn der Beschreibung des Martinverfahrens hervorgehoben wurde, ist dieser Prozeß geschaffen worden aus der Notwendigkeit heraus, die anderweitig nicht verwendbaren Abfälle des Bessemerbetriebes zu verwerten.

Der Verlauf dieses Schmelzverfahrens, das auch heute noch zum Teil in dieser Art ausgeführt wird, ist der, daß zunächst eine gewisse Quantität Roheisen im Herde des Martinofens eingeschmolzen oder demselben in flüssiger Form zugeführt wird. Hiernach werden Schmiedeeisenabfälle in den Herd eingetragen und im Roheisenbade aufgelöst.

Während der ganzen Dauer des Prozesses wirkt die Flamme des Martinofens kräftig oxydierend auf das im Herde befindliche Material ein, so daß nach Verlauf einiger Stunden der Gehalt des ursprünglich in den Herd eingeführten Roheisens an Fremdkörpern oxydiert und verschlackt ist. Das Endprodukt ist hier wie beim Bessemer- und Thomasbetrieb zunächst ein überfrischtes Material, welches durch Zuführung der vorgenannten Desoxydationsmittel vom gelösten Eisenoxydul befreit und durch weitere Hinzufügung von Kohlenstoff wieder bis zu demjenigen Grade rückgekohlt werden muß, der der zu erzeugenden Stahl- oder Flußeisenqualität entspricht.

Im Laufe der Jahre erkannten die Hüttenleute, daß der Verlauf des Prozesses beschleunigt werden kann, wenn man die Oxydation der Fremdkörper des Roheisens

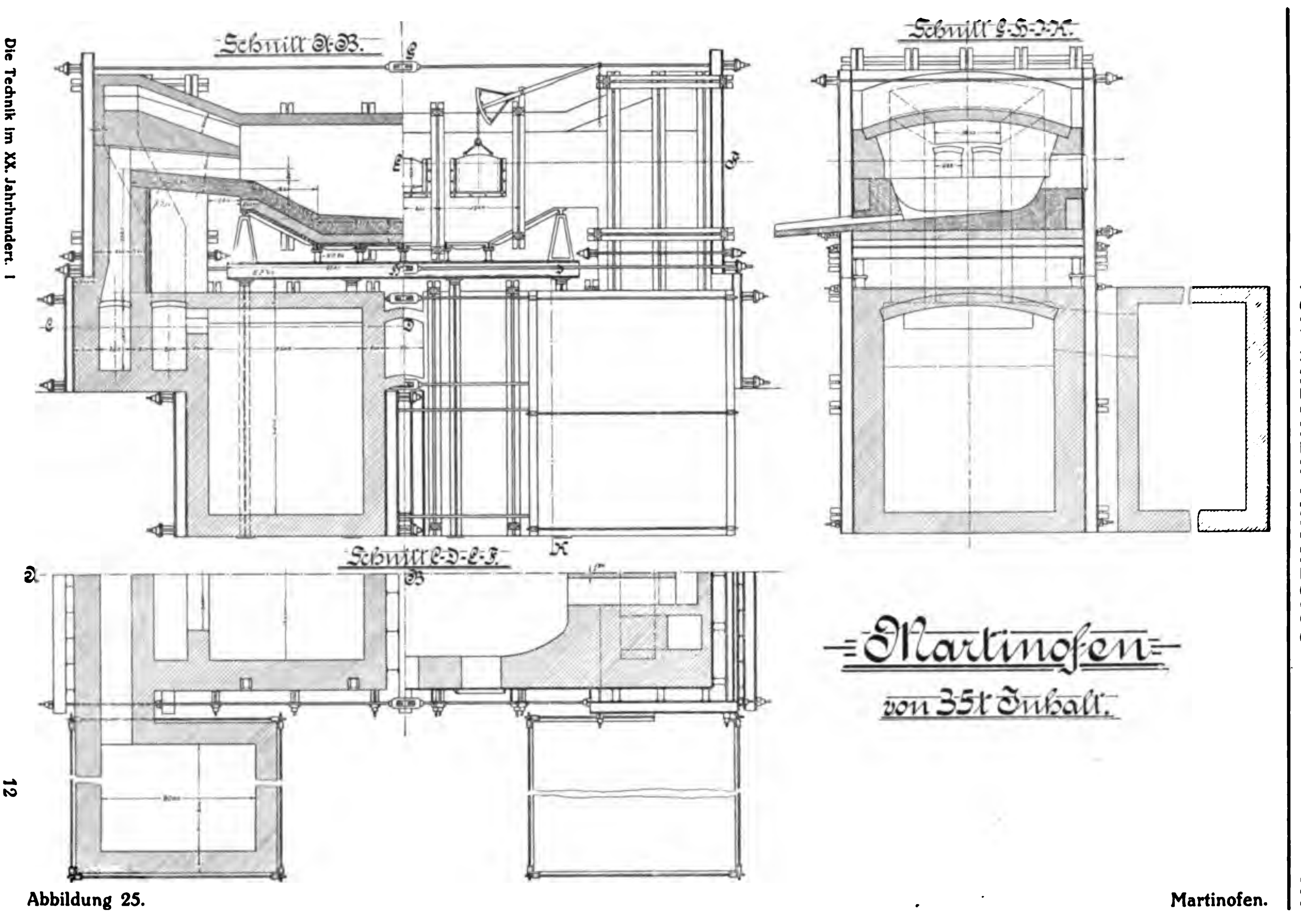


Abbildung 25. Martinofen.

nicht ausschließlich der oxydierenden Wirkung der Flamme überläßt, sondern wenn man sauerstoffhaltige Körper, z. B. hochhaltige und reine Eisenerze, dem Bade zuführt. Die im Eisenerz enthaltenen Eisenoxyde geben ihren Sauerstoff an die Fremdkörper des Roheisens ab und werden dadurch selbst zu metallischem Eisen reduziert, welches dem Metallbade auf diese Weise zugeführt wird.

Man hat hier also eine direkte Gewinnung von metallischem Eisen aus den zugefügten Eisenerzen. Dies hat zur Folge, daß die Menge des Produkts, welches der Martinofen liefert, wesentlich erhöht wird, so daß bei genügend reichlicher Erzzufuhr der Martinofen sogar etwas mehr fertiges Produkt zu liefern vermag als ihm dem Gewicht nach an Roheisen und Schmiedeeisenschrott zugeführt worden ist. Dies ist ein weiterer Vorzug des Martinprozesses gegenüber dem Thomas- und Bessemerprozeß, bei welchen sich naturgemäß das Ausbringen bedeutend niedriger gestaltet, da während des Verlaufs dieser Prozesse ja nicht nur die Fremdkörper des Roheisens, sondern auch beträchtliche Mengen von Eisen oxydiert und in die Schlacke übergeführt werden.

Durch die Einführung des Martinofenprozesses wandelte sich verhältnismäßig rasch der ehemalige Überfluß an Schmiedeeisenschrott in einen Mangel an diesem Produkte um, da Martinwerke überall mit verhältnismäßig geringen Unkosten errichtet werden konnten. Der Schrottmangel hatte natürlich seinerseits eine erhebliche Preissteigerung dieses Materials zur Folge, die so weit ging, daß zeitweilig die Durchführung des Martinofenprozesses in der alten Form des Roheisenschrottverfahrens nicht mehr lukrativ erschien.

Diese Veränderung der Marktlage bewirkte nun ihrerseits wieder ein lebhaftes Bestreben der Hüttenleute, den Martinofenprozeß derart auszugestalten, daß dieser Betrieb gänzlich unabhängig von der Verwendung von Schmiedeeisenschrott wurde, und diese Ausgestaltung war möglich durch beträchtlich verstärkte Zuführung von Eisenerz in den Herd des Martinofens.

Man ist tatsächlich dazu gekommen, den Prozeß derart zu führen, daß in den Ofen nur Roheisen eingesetzt wurde, und daß die Fremdkörper dieses Roheisens durch ausgiebige Einführung von Eisenerz oxydiert wurden.

Diese neuere Ausgestaltung — der Roheisenerzprozeß im Martinofen — bedingte seinerseits wieder eine Veränderung der Martinofenkonstruktion, da beim Roheisenschrottprozeß nur geringe Mengen von Schlacke gebildet werden, während beim Roheisenerzprozeß sehr beträchtliche Mengen dieses Nebenerzeugnisses mit verarbeitet werden müssen, da man niemals Eisenerze zur Verfügung hat, die nur aus Eisenoxyd bestehen, sondern überwiegend Erze verarbeitet werden müssen, die einen nicht unbeträchtlichen Gehalt an Kieselsäure besitzen. Die Verschlackung der Kieselsäure und der gleichzeitig aus dem Phosphorgehalt des Roheisens oder aus dem Erz stammenden Phosphorsäure verlangt eine entsprechend reichliche Zuführung von Kalk zum Herde des Ofens. Beim Roheisenerzprozeß bildet sich deshalb eine Schlackendecke von beträchtlicher Stärke über dem Eisenbade im Ofen, und es war notwendig, den Fassungsraum des Herdes um das Volumen dieser Schlacke zu vergrößern.

Eine dicke Schlackendecke ist aber ein sehr beträchtliches Hindernis für die Überführung der Wärme aus der im Ofen brennenden Flamme nach dem Metallbade, und aus diesem Umstande heraus entwickelten sich nun wieder neueste Ausgestaltungen des Martinofenprozesses, die darauf hinauslaufen, den Prozeß in zwei Teile zu teilen; in dem ersten Teil wird die Hauptmenge der Fremdkörper des Roheisens durch die oxydierende Wirkung der Eisenerze aus dem Eisenbade entfernt und dieses



Abbild. 26a. Wellmann Seaver & Head Ltd. in Düsseldorf: Kippbarer Martinofen in aufrechter Stellung.

dann im zweiten Teil des Prozesses vollkommen oxydiert und dann weiterbehandelt, wie dies früher beschrieben worden ist.

Diese Zweiteilung des Prozesses kann nun durchgeführt werden entweder in zwei Öfen — Bertrand-Thiel-Verfahren —, indem man das Eisenbad und die Schlacke aus dem ersten Ofen absticht, die Schlacke entfernt und das Eisenbad einem zweiten Martinofen zuführt, oder man kann den Prozeß in einem Ofen durchführen — Hoesch-Verfahren —, indem man nach dem ersten Teil des Prozesses den Ofeninhalt in eine Gießpfanne absticht und nach Abgießen der Schlacke das Eisenbad wieder in denselben Ofen zurückführt.

Aus einem Martinofen der bisher geschilderten Konstruktion ist es nicht gut möglich, die Schlacke vom Eisenbade zu entfernen und dieses direkt im Ofen zurückzulassen. Eine derartige Manipulation kann dagegen in Öfen vorgenommen werden, deren Herd kippbar ausgebildet ist, so daß durch Neigen des Herdes ein Abfließen der Schlacke vom Eisenbade herbeigeführt werden kann.

Die Ausbildung kippbarer Öfen (Abbildung 26) ist in den Vereinigten Staaten von Nordamerika in umfänglichem Maße erfolgt, während die Einführung dieser Konstruktion in den europäischen Ländern bisher nur in einzelnen Fällen stattgefunden hat.

Ein kippbarer Ofen ist wesentlich teurer in der Herstellung als ein feststehender Ofen, und er verlangt einen nicht unbeträchtlich höheren Aufwand an Heizmaterial als die letzteren.

Die europäischen Hüttenleute haben deshalb bisher, von einzelnen Sonderfällen abgesehen, dem feststehenden Ofen den Vorzug vor dem kippbaren gegeben.

Die Ausbildung der kippbaren Öfen, insbesondere hinsichtlich der Erweiterung ihres Fassungsraumes hat nun noch gestattet, eine besondere Abart des Martinofenprozesses — den Talbotprozeß — zur Anwendung zu bringen. Man kann den Verlauf der Reaktionen nämlich erheblich beschleunigen, wenn man nach Beendigung einer Charge nicht den gesamten Inhalt des Ofens in die Gießpfanne entleert und nun durch Neueinführung von zu verarbeitendem Material den Prozeß wieder von vorn beginnt, sondern wenn man einen Teil, etwa ein Drittel, des überfrischten Eisenbades im Ofen zurückläßt und diesem Eisenbade nun direkt wieder Roheisen und Eisenerz sowie Zuschläge zuführt. Das im Ofen zurückgehaltene Eisenbad dient einerseits als Wärmereservoir, andererseits als Sauerstoffträger und bewirkt dadurch einen sofortigen, fast stürmischen Verlauf der Frischoperation. Diese Abart des Prozesses gestattet indessen nicht, die Desoxydation und Rückkohlung des Eisenbades, wie vorher geschildert, im Ofen selbst vorzunehmen, weil dadurch der Sauerstoffgehalt des im Ofen zurückbleibenden Badrestes vernichtet werden würde, sondern es muß die Ausführung dieser Operation in die Gießpfanne verlegt werden.

Schon bei der Überführung in die Gießpfanne ist das Eisenbad an und für sich aber einer nicht unbeträchtlichen Abkühlung ausgesetzt; eine nochmalige Einführung von Wärme kann hier nicht stattfinden, und die Desoxydations- und Kohlungsreaktionen sind überdies in starkem Maße wärmeverbrauchend.

Wegen des Mangels einer Heizung darf auch das erzeugte Material nicht länger, als unumgänglich erforderlich ist, in der Gießpfanne verweilen. Es fehlt daher hier die andererseits zur Verfügung stehende Zeit, welche ermöglicht, den vollkommenen Ablauf der Reaktionen abzuwarten und die möglichst gleichmäßige Verteilung der Rückkohlmittel durch das ganze Bad hindurch sich vollziehen zu lassen.

Die Qualität des im Talbotprozeß erzeugten schmiedbaren Eisens muß deshalb derjenigen des in den vorgeschilderten Prozessen erzeugten Materials nachstehen.

Das ist wohl der hauptsächlichste Grund, weshalb der Talbotprozeß in europäischen Hüttenwerken Anwendung fast nicht gefunden hat. Immerhin war der Talbotprozeß die Veranlassung, Martinöfen mit den vorerwähnten großen Fassungsvermögen von 250000 kg zu bauen.

In allerletzter Zeit sind indessen auch hierin wieder Fortschritte dadurch erzielt worden, daß man die vorerwähnte Zweiteilung des Prozesses derart durchgeführt hat, daß der erste Teil desselben fortlaufend in großen Talbotöfen ausgeführt wird, die dann allerdings Eisenmischer genannt werden, weil sie gleichzeitig die Aufgabe zu übernehmen haben, das flüssige Eisen von verschiedenen Hochöfen aufzunehmen und zu mischen. In diesen Eisenmischern führt man dann durch Zuführung von Erz eine Vorfrischoperation aus und entnimmt einen Teil des vorgefrischten Bades, um dieses dann feststehenden Martinöfen zur Vollendung des Prozesses zuzuführen. Von dieser Ausbildung des Prozesses ist z. B. in der neuen Martinwerksanlage der Georgs-Marienhütte in Osnabrück Anwendung gemacht worden.

Beim Martinofenbetrieb wird das Material, aus welchem die Öfen hergestellt sind, bis auf die äußerste Grenze seiner Leistungsfähigkeit in Anspruch genommen. Die Siemenssche Regenerativfeuerung würde an und für sich gestatten, höhere Temperaturen anzuwenden als diejenigen sind, von denen man jetzt Gebrauch zu machen pflegt, und die Anwendung derselben würde geeignet sein, den Verlauf des Prozesses wesentlich zu beschleunigen, da die lange Dauer desselben hauptsächlich dadurch her-



Abbildung 26b. Wellmann Seaver & Head Ltd. in Düsseldorf: Kippbarer Martinofen in Kippstellung.

vorgerufen wird, daß das Temperaturgefälle zwischen der im Ofen brennenden Flamme und dem im Herde befindlichen Eisenbade ein verhältnismäßig geringes ist, welcher Umstand seinerseits wieder zur Folge hat, daß der Wärmeübergang von der Flamme zum Bade sich verhältnismäßig langsam vollzieht.

Die Rücksicht auf die möglichst lange Indiensthaltung des Ofens ist es allein, welche die Betriebsleiter eines Martinwerkes zwingt, hinsichtlich der Höhe der im Ofen erzeugten Temperatur Vorsicht obwalten zu lassen.

Es ist nicht selten vorgekommen, daß die Gewölbe von Martinöfen von weniger erfahrenen Betriebsleitern schon nach Verlauf der allerersten Chargen heruntergeschmolzen worden sind. Hält man andererseits die Temperatur im Ofeninnern aus Vorsicht zu niedrig, so erhöht sich die Chargendauer in sehr beträchtlichem Maße, und die Tagesproduktion der Öfen vermindert sich deshalb entsprechend. Es ist daher die besondere Aufgabe der Betriebsleitung, die Chargendauer durch richtige Wahl der Temperatur so kurz wie möglich zu gestalten und trotzdessen aus ein und demselben Ofen eine große Zahl von Abstichen zu gewinnen, ehe eine umfassende Reparatur, die eine Betriebseinstellung erfordert, ausgeführt werden muß. Man darf in der Gegenwart als Normalleistung die Erzeugung von 500 Chargen im Ofen ansehen, ehe eine nennenswerte Reparatur durchgeführt wird, und wenn danach diejenigen Teile, die im höchsten Maße dem Abschmelzen ausgesetzt sind — die Köpfe des Ofens —, d. h. die Gasein- und Ausströmungskanäle, erneuert worden sind, ge-

lingt es im allgemeinen, noch 3—400 Chargen zu liefern, ehe eine Erneuerung der Gewölbe, der Kammerausmauserung usw. erfolgen muß.

Man hat in allerneuester Zeit eine Reihe von Konstruktionen zur Anwendung gebracht, bei denen eine mehr oder minder umfängliche Wasserkühlung dieses empfindlichen Teils des Ofens vorgesehen ist; andererseits befinden sich wieder Konstruktionen in Anwendung, die gestatten, die leicht abschmelzenden Köpfe innerhalb weniger Stunden zu erneuern, ohne daß es erforderlich ist, den Ofen abzustellen.

Die außerordentliche Höhe der im Ofen obwaltenden Temperatur gibt sich auch dem Laienauge leicht zu erkennen durch die sonnenartige Lichtfülle, die sich aus dem Ofen in die Arbeitsräume ergießt, wenn eine der Arbeitstüren geöffnet wird. In diesem Falle dringen aber nicht nur Licht-, sondern auch in ebenso beträchtlichem Maße Wärmestrahlen aus dem Ofen nach außen, deren Intensität die Ausführung von Arbeiten am Ofen zu den anstrengendsten gestaltet, die im modernen Hüttenbetriebe zu bewältigen sind.

In etwas zurückliegender Zeit wurden die großen Materialmengen, die in den Öfen verarbeitet werden müssen, durch Arbeiter von Hand in den Herd des Ofens eingesetzt, und da diejenige Materialmenge, die so in der Zeiteinheit in den Ofen eingeführt werden konnte, naturgemäß verhältnismäßig gering war, erforderte das Beschicken der Öfen einen sehr beträchtlichen Zeitaufwand, durch welchen die Chargendauer erheblich in die Länge gezogen wurde. Dieser Umstand war es auch, der es lange Jahre nicht angängig erscheinen ließ, den Herdinhalt der Öfen größer als etwa auf 15—20000 kg zu bemessen. Erst nachdem die fortschreitende Entwicklung der



Abbildung 27. Westfälische Stahlwerke in Bochum: Blick auf die Beschickungsbühne eines Martinofens.



Abbildung 28. Deutsche Maschinenfabrik A.-G. in Duisburg: Muldenchargierkran.

Ingenieurkunst eine Reihe sinnreicher Mechanismen geschaffen hat, die gestatten, die Arbeit der Ofenbeschickung — des Chargierens — auf mechanischem Wege zu vollbringen, war es möglich, die Einzelgewichte der jeweils zuzuführenden Materialmengen erheblich zu steigern. Gleichzeitig trat aber auch eine sehr wünschenswerte Entlastung der Martinofenarbeiter durch die mechanische Beschickung der Öfen ein, so daß nunmehr eine übermäßig starke Inanspruchnahme derselben nicht mehr stattfindet.

Die Abbildung 27 gewährt einen Blick auf die Beschickungsbühne eines Martinofenwerkes. Über derselben läuft auf hochliegenden Schienengleisen ein Chargierkran, der elektrisch angetrieben ist und von einem einzigen am Führerstand stehenden Arbeiter bedient wird. Dieser Kran hat die Aufgabe, große Eisenmulden, die mit den in die Öfen einzuführenden Materialien vorher beschickt worden sind, von einer geeigneten Stelle der Beschickungsbühne aufzunehmen, sie durch eine der geöffneten Arbeitstüren in den Ofen hineinzuführen, sie dort umzukippen, sie dadurch zu entleeren, und die Mulde dann wieder aus dem Ofen herauszufahren und so abzusetzen, daß sie leicht wieder zur Beladestelle transportiert werden kann.

In Abbildung 28 ist ein derartiger Chargierkran in modernster Ausführungsform zur Darstellung gebracht. Die Abbildung läßt insbesondere deutlich in Erscheinung treten, wie groß die Räume sind, die mit einer derartigen Maschine beherrscht werden können, und in wie zierlicher kompendiöser Form diese Apparate in der Neuzeit ausgeführt werden.

Abbildung 29 gibt einen Überblick über die Gießhalle eines modernen Martinwerkes. Im Bilde befinden sich an der linken Seite die in einer Reihe angeordneten Martinöfen. Für die Ausgestaltung der Halle ist die Bedingung maßgebend, innerhalb derselben mit Hilfe von Laufkranen die mannigfaltigsten Materialtransporte bequem ausführen zu können. Zu diesem Zweck sind in der dargestellten Halle zwei Kranlaufbahnen übereinander angeordnet. Auf jeder derselben befinden sich mehrere Laufkrane von entsprechender Leistungsfähigkeit.

Abbildung 30 vermittelt uns einen Einblick in eine solche Martinofenhalle während des Gießens eines größeren Stahlblockes. Im Vordergrunde der Abbildung befinden sich in der Gießgrube eine erhebliche Zahl von Gießformen — Kokillen — von verschiedener Größe. Auch in dieser Halle bewältigen Laufkrane, die auf einer hochgelegenen Laufbahn verfahren werden können, die Durchführung der größeren Transporte, während auf der linken Seite des Bildes der Ausleger eines Drehkranes in Erscheinung tritt, an welchen zwei Kokillen angehängt sind.

Immerhin ist die Frage des Materialtransports beim Martinofenbetrieb auch heute noch keineswegs endgültig gelöst, sondern es ist dies ein Gebiet, auf dem alljährlich in steigendem Maße Neuerungen zur Ausbildung gelangen.

Für diejenigen Martinwerke, von denen der Roheisenschrottprozeß angewendet wird, bietet, wie erwähnt, die Beschaffung der erforderlichen Schrottmengen eine die



Abbildung 29. Westfälische Stahlwerke in Bochum: Blick in die Gießhalle.



Abbildung 30. Firma Friedrich Krupp, A.-G. in Essen-Ruhr: Blick in die Gießhalle eines Martinwerkes während des Gießens.

Gestehungskosten ausschlaggebend beeinflussende Aufgabe. Der vorerwähnte Walzwerksschrott, der überwiegend aus kompakten Stücken besteht, langt schon längst nicht mehr aus zur Bewältigung der Nachfrage. Auf den Schrottplätzen der Martinwerke sieht man deshalb Schmiedeeisenabfälle der mannigfachsten Art zu mächtigen Vorratsbergen angehäuft, und naturgemäß ist derjenige Schrott weniger beliebt und billiger im Preise, der aus vielen kleinen, dünnen, sperrigen Stücken besteht, da die Einführung desselben in die Öfen sich im allgemeinen nur mit erheblich größeren Umständen und wesentlich höherem Zeitaufwande bewirken läßt als bei der Verarbeitung von massigerem Schrott.

Auch hier ist neuerdings die Ingenieurkunst förderlich eingetreten, der es gelungen ist, schwere Pressen zu konstruieren, in denen die sperrigen Haufen von kleinem Schrott zu dichten, festen Paketen zusammengedrückt werden, die nunmehr relativ leicht durch die vorher erwähnten Einsetzapparate in die Öfen eingeführt werden können.

Auch in einer anderen Hinsicht ist in neuester Zeit ein wesentlicher Fortschritt auf dem Gebiete des Martinofenbetriebes erreicht worden, indem man den Aufwand für die Beheizung der Öfen wesentlich dadurch herabgesetzt hat, daß man zu diesem Zwecke nicht mehr wie früher erhebliche Mengen von Kohlen, durch Generatoren in Generatorgas verwandelt, den Öfen zuführt, sondern daß man hierfür Gase von Koks-

öfen in Gebrauch nimmt, die wiederum infolge neuester Ausgestaltung der Koksofenanlagen dort zur Beheizung der Öfen nicht mehr vollständig verbraucht werden. Naturgemäß kann diese Verwendung nur da erfolgen, wo in nicht allzu großer Entfernung vom Martinofenwerk Batterien von Koksöfen vorhanden sind. Dieser neueste Fortschritt raubt daher andererseits den Martinwerken wieder einen Teil ihrer bisherigen Selbständigkeit und gewährt denjenigen allein diesen Vorteil, die an große Hüttenwerke angegliedert sind.

Die vorstehenden Darlegungen lassen erkennen, daß gerade auf dem Gebiete des Martinofenbetriebes in neuester Zeit die einschneidendsten Umwälzungen sich vollzogen haben, und es wird hieraus die Tatsache verständlich, daß die Erzeugungsmenge von Martinstahl von Jahr zu Jahr in beträchtlich stärkerem Maße zugenommen hat als diejenige der vorher geschilderten älteren Verfahren. Hierzu hat einerseits ganz besonders der Umstand beigetragen, daß durch die beschriebenen Verbesserungen des Betriebes der Erzeugungspreis des Martinstahls im Laufe der letzten Jahre erheblich zurückgegangen ist und gegenwärtig nicht wesentlich höher steht als beispielsweise derjenige des Thomasstahls, und ferner der schon kurz erwähnte Umstand, daß der Martinofen die Fähigkeit besitzt, Roheisen der allerverschiedensten Zusammensetzung verarbeiten zu können.

Besitzt nun dieses Rohmaterial erhebliche Mengen von Phosphor und wird der Prozeß in einer der vorher geschilderten zweigeteilten Ausbildungsarten durchgeführt, so bietet sich überdies im Martinofen die Möglichkeit, eine Schlacke zu erzeugen, die ähnlich zusammengesetzt ist wie die hochwertige Schlacke des Thomasprozesses, und deshalb ebenfalls als wertvolles Düngemittel der Landwirtschaft zugeführt werden kann, dem Martinwerke dadurch einen nicht unbeträchtlichen Nebenverdienst gewährend.

In Deutschland wird, wie aus dem Stammbaum der Eisenindustrie (Seite 131) hervorgeht, etwa halb soviel Martinflußeisen als Thomasflußeisen erzeugt.

Die Entwicklung der beiden Prozesse hat allmählich gelehrt, daß der Thomasprozeß ganz besonders befähigt ist, weichste Flußeisenqualitäten zu erzeugen, während es im Martinofenbetriebe leichter als im Thomasbetriebe möglich ist, härtere Stahlsorten darzustellen.

Die Weiterverarbeitung des aus allen drei Flußeisenerzeugungsprozessen gewonnenen flüssigen schmiedbaren Eisens erfolgt nun in vollkommen gleicher Art und Weise. Aus den Birnen oder Öfen wird das flüssige Erzeugnis in Gießpfannen ausgegossen oder abgestochen, und von diesen gelangt es zur Formgebung, indem es in dickwandige, aus grauem Eisen hergestellte Formen — Kokillen — gegossen wird, in denen sich die Erstarrung vollzieht.

In einer einige Dezennien zurückliegenden Zeit war es allgemein üblich, die durch das Gießen erhaltenen Blöcke vollkommen erkalten zu lassen und sie dann zum Zwecke der Weiterverarbeitung wieder in besonderen durch Kohle oder Generatorgas geheizten Öfen anzuwärmen. Es fand also hier ein beträchtlicher Wärmeverlust während der Abkühlung der Blöcke statt, und es mußte ein ebenso beträchtlicher Wärmeaufwand wieder ausgeübt werden, um die Blöcke auf diejenige hohe Temperatur zu erwärmen, die zur Durchführung der Weiterverarbeitung erforderlich war.

Diese Unvollkommenheit ist in der weitaus größten Mehrzahl der Hüttenwerke indessen beseitigt worden, indem man nunmehr den Blöcken nur so lange gestattet, in den Kokillen zu verweilen, bis sich im Verlaufe der Erstarrung eine Außenhaut von genügender Dicke gebildet hat, die es ermöglicht, den Block durch Hebezeuge anzufassen und zu transportieren. In diesem Augenblick befindet sich aber das



Abbildung 31. Gutehoffnungshütte in Oberhausen (Rheinland): Halle mit Durchweichungsgruben.

Innere der Blöcke noch in mehr oder weniger flüssigem Zustande und infolgedessen in höchster Temperatur. Würde man einen solchen Block den Walzwerken zur weiteren Verarbeitung zuführen, so würde er beim Versuch, eine Formänderung herbeizuführen, auseinanderfallen. Gewährt man ihm indessen in Räumen, die auf entsprechender Temperatur gehalten werden — entweder dadurch, daß man sie mäßig heizt, oder dadurch, daß beim flotten Betriebe die Wärme, die der Block selbst mitbringt, in diesen „Durchweichungsgruben" sorgfältigst aufgespeichert wird —, einige Zeit der Ruhe, während welcher sich ein Ausgleich der Temperatur zwischen dem heißen Blockinnern und der durch die Kokillen abgekühlten Außenhaut vollziehen kann, so nimmt der Block durch seine ganze Masse hindurch diejenige gleichmäßige Temperatur an, in der er schmiedbar oder walzbar ist.

Abbildung 31 gibt einen Blick in eine Halle, in deren Boden zahlreiche Durchweichungsgruben eingebaut sind. Jede derselben ist mit einer besonderen Deckplatte abgeschlossen.

Bei Anwendung dieser Durchweichungsgruben ist es nunmehr möglich, den Block ohne nochmalige vorherige Erwärmung direkt einer weiteren Verarbeitung in den Walzwerken zuzuführen und ihn so mit derjenigen Wärmemenge, die ihm vom Stahl-

werk aus mitgegeben worden ist, bis zur fertigen Schiene, Schwelle oder dergleichen auszuwalzen.

Gedenkt man der Tatsache, daß auch das Roheisen dem Bessemer- oder Thomasstahlwerk vom Hochofen in flüssiger Form zugeführt wird, und daß es dort ohne nochmalige Zufuhr von Wärme in Stahl oder Flußeisen umgewandelt wird, so ergibt sich das interessante Resultat, daß in modern ausgestalteten großen Hüttenwerken diejenige Wärmemenge, die durch Verbrennen von Koks im Hochofen dem Eisen einverleibt worden ist, vollkommen ausreicht, das erblasene Roheisen in Stahl oder Flußeisen umzuwandeln und dieses bis zum Fertigprodukt auszuwalzen.

In den bisherigen Darlegungen ist der Aufgabe nur mit wenigen Worten gedacht worden, das flüssige Eisen in feste Form überzuführen, und es ist dadurch der Anschein erweckt worden, als ob diese Operation so einfach wäre, daß dem Vorgange eine nähere Erörterung nicht gewidmet zu werden brauche. Eine derartige Auffassung würde irrig sein. Die Gießarbeit ist vielmehr eine der schwierigst auszuführenden und gefahrvollsten des Hüttenbetriebes. Von ihrer Ausführung ist in hohem Maße die Qualität des erzeugten Materials abhängig, und sie wird überhaupt nur dann in befriedigender Art und Weise durchführbar, wenn eine erhebliche Zahl hüttenmännischer Grundbedingungen für die Erzielung einer guten Vergießbarkeit des Stahls erfüllt worden sind.

Es sind vornehmlich zwei Umstände zu berücksichtigen; das ist erstens der unvermeidbare Gasgehalt des flüssigen Eisens und zweitens die physikalische Eigenschaft des Eisens, beim Abkühlen von der Gießtemperatur auf den Erstarrungspunkt in hohem Maße zu „schwinden", d. h. in der niedrigeren Temperatur des Erstarrungspunktes ein kleineres Volumen einzunehmen als in der Gießtemperatur.

Um die Tatsache, daß flüssiges Eisen sehr beträchtliche Mengen von Gasen enthält, verständlich zu machen, sei zunächst darauf hingewiesen, daß geschmolzenes Eisen eine Flüssigkeit ist, wie z. B. geschmolzenes Eis — unser bekanntes Wasser.

Wir wissen, daß Wasser die Fähigkeit besitzt, Gase in teilweise sehr beträchtlichem Maße zu absorbieren. Diese Fähigkeit wohnt ihm aber nicht in gleichem Maße bei verschiedenen Temperaturen inne. Es gibt insbesondere zwei Temperaturen, unter deren Obwalten Wasser überhaupt nicht die Fähigkeit besitzt, Gase zu lösen. Das ist einerseits die Siedetemperatur und andererseits der Gefrierpunkt. Wenn man Wasser längere Zeit zum Sieden erhitzt, werden durch die Bildung von Dampfblasen innerhalb der Flüssigkeit und durch das Entweichen des Dampfes die vom Wasser absorbierten Gase allmählich aus demselben herausgewaschen. Beim Gefrieren findet ebenfalls eine Ausscheidung der im flüssigen Wasser gelösten Gase statt, wie man an jedem Block künstlichen Eises zu erkennen vermag. Flüssiges Eisen verhält sich in diesem Sinne genau so wie Wasser. Es besitzt eine beträchtliche Lösungsfähigkeit für all die Gase, die mit ihm in nähere Berührung kommen, insbesondere für Wasserstoff, Stickstoff und Kohlenoxyd.

Man macht von der Möglichkeit, diese gelösten Gase durch Erhitzen des Eisens auf eine hohe Temperatur auszutreiben, in einigen hüttenmännischen Prozessen Gebrauch. Bei den hier in Rede stehenden kann indessen auf diesem Wege eine Befreiung des Eisens von Gasen nicht vorgenommen werden, insbesondere deshalb, weil während der unumgänglich erforderlichen Desoxydations- und Kohlungsreaktionen innerhalb des Eisens Kohlenoxyd neu gebildet wird. Man muß deshalb die Übelstände, die eine Entwicklung dieser Gase im Moment des Erstarrens des Eisens im Gefolge haben, mit in Kauf nehmen und kann lediglich anstreben, die Folgen des Vorganges für das erzeugte Produkt möglichst unschädlich zu machen.

Würde ein Stahlblock durchsichtig sein, wie etwa einer der vorher erwähnten Blöcke künstlich erzeugten Eises, so würden die in der Form von Blasen sich während des Erstarrens ausscheidenden Gase sichtbar in Erscheinung treten. Tatsächlich können solche Blasen regelmäßig beobachtet werden in Blöcken, die nach dem Erstarren und Erkalten, ohne daß sie weiteren Bearbeitungsprozessen unterworfen worden sind, zerbrochen werden.



Abbildung 32. Stahlblock mit Gießporen.

In Abbildung 32 ist eine solche Bruchfläche zur Darstellung gebracht. Man erblickt hier eine Reihe von Blasen in einer deutlich markierten Randzone angehäuft, während der alleräußerste Umfang des Blockes ziemlich dicht erscheint, ebenso wie die mittlere Partie.

Die Erstarrung des Blockes erfolgt in einer Kokille nicht mit einem Male durch die ganze Masse hindurch, sondern es bildet sich zunächst eine harte Kruste, während das Innere des Blockes noch im flüssigen Zustande verharrt. Diejenigen Gasmengen, die von der erstarrenden Kruste ausgeschieden werden, können deshalb durch das flüssige Material des Blockinnern hindurchtreten und entweichen, dem Auge des Beobachters deutlich sichtbar, in häufig recht beträchtlichen Mengen aus der Oberfläche des in der Kokille stehenden Stahlniveaus. Je mehr die Abkühlung fortschreitet, um so mehr auch Wärme aus dem Innern des Blockes nach außen fortgeleitet wird, um so dickflüssiger wird das Eisen, bis schließlich ein Zustand der Zähflüssigseit erreicht wird, welchem gegenüber die Auftriebskraft einer Gasblase nicht mehr ausreicht, um eine Verschiebung der kleinsten Teilchen herbeizuführen und ihr das Entweichen nach oben zu gestatten. Von diesem Moment an müssen die Gasblasen im erstarrenden Material zurückbleiben und Hohlräume bilden. Das ist der Augenblick, in dem die Randzone entsteht. Das Innere des Blockes bleibt länger warm und länger flüssig. Die hier aufsteigenden Gase haben mehr Zeit, nach oben zu entweichen, und das ist die Ursache, weshalb die mittlere Partie des Blockes meistens ziemlich dicht erscheint. Ist der Gasinhalt des Blockes indessen sehr groß, so entstehen im Innern desselben schaumige Partien, die, solange das oberste Niveau des Materials noch nicht ganz fest geworden ist, nach oben herausquellen und den Block eventuell unverwendbar erscheinen lassen. Es gibt verschiedene Mittel, dieses Aufquellen der Blöcke zu vermeiden; deren Erörterung würde indessen hier zu weit führen. Mit dem Festwerden des Blockes hört die Gasentwicklung noch keineswegs vollständig auf, sondern es treten noch dauernd bis zum vollständigen Erkalten beträchtliche Gasmengen durch kleine Poren aus dem Blocke heraus und erscheinen meist als bläulich brennende kleine Flammen an der Oberfläche der Kokille.

Die geschilderte Erscheinung würde für die Qualität des erzeugten Materials außerordentlich bedenklich sein, wenn die Blasen auch in dem fertig verarbeiteten Produkt

noch als solche vorhanden sein würden. Das ist indessen erfreulicherweise nicht der Fall. Vielmehr findet in der späteren Verarbeitung des Blockes durch Schmieden oder Walzen infolge des bei hoher Temperatur auf das Material ausgeübten außerordentlich starken Druckes wieder ein vollkommenes Verschweißen der durch die Blasen gebildeten Hohlräume statt, so daß auch bei sorgfältigster mikroskopischer Untersuchung Hohlräume dieser Art im gewalzten oder ausgeschmiedeten Material nicht mehr nachgewiesen werden können.



Abbildung 33. Akt.-Ges. Oberbilder Stahlwerk in Düsseldorf-Oberbilk: Durchschnittener Stahlblock mit Lunker. Hergestellt ohne Anwendung eines Verdichtungsverfahrens.

Immerhin kann durch die Anwesenheit der Blasen der Verlauf der Weiterverarbeitungsvorgänge des Eisens unter Umständen höchst ungünstig beeinflußt werden. Es ist deshalb eine besondere Aufgabe der Betriebsleitung, entweder die Desoxydationsvorgänge des Produktes so zu gestalten, daß möglichst wenig Gase durch dieselben gebildet werden, oder aber auch durch geeignete Wahl der Gießtemperatur oder durch besondere Zusätze zu dem Eisen die Abscheidung der Gase aus dem flüssigen Material derart zu gestalten, daß die Blasen im Block an Stellen liegen, an denen sie für die Weiterverarbeitung unschädlich sind.

Beträchtliche Schwierigkeiten bereitet, insbesondere bei Blöcken großer Dimensionen, der zweite der oben angeführten ungünstigen Umstände, die starke Volumenverminderung des Eisens während der Erstarrungsvorgänge.

Beim Erstarren des Blockes bildet sich eine äußere harte Haut nicht nur dort, wo die Kokille die Wand abkühlt, sondern auch dort, wo durch die unbehinderte Ausstrahlung von Wärme in den Arbeitsraum hinaus der Kopf des Blockes sich früher abkühlt als das Blockinnere.

Von dem Augenblick an, wo der Kopf sich geschlossen hat, kann die im Innern des Blockes weiter fortschreitende Volumenverminderung des Materials einen Ausgleich durch von oben nachsinkende flüssige Mengen nicht mehr empfangen. Es muß also unvermeidbar im Innern ein Hohlraum entstehen. Dieser Hohlraum liegt naturgemäß dort, wo das Material am längsten flüssig geblieben ist, d. h. also unterhalb der Mitte des Kopfes, und zieht sich mitunter fast bis zur halben Höhe des Blockes, sich all-

mählich unten verengend, in das Innere desselben hinein. Bei großen Blöcken entstehen hier Hohlräume, die etwa die Größe eines menschlichen Kopfes zeigen. Da nun gleichzeitig unterhalb dieser Hohlräume sich alle diejenigen Unreinigkeiten anhäufen, die während der Erstarrungsvorgänge sich noch aus dem Blockinnern abgeschieden haben — Schlackenanteile, ausgesaigerte, leichtflüssige Legierungsbestandteile usw. —, so findet im allgemeinen bei den späteren Arbeitsvorgängen ein Verschweißen dieser Hohlräume nicht mehr statt, und deswegen muß in vielen Fällen eine Beseitigung dieser fehlerhaften Teile des Blockes durch Abschneiden derselben erfolgen.



Abbildung 34. Firma Haniel & Lueg in Düsseldorf-Grafenberg: Durchschnittener Stahlblock nach dem Riemerschen Verfahren behandelt.

Wenn diese Hohlräume — Lunker genannt — sich zu einem Drittel und bis zur Hälfte der Blockhöhe ziehen, so ist hier der Verlust, der an fertigem Material erwächst, außerordentlich schwerwiegend. Die Abbildung 33 zeigt einen in der Längsachse mitten durchschnittenen Stahlblock, der deutlich das Vorhandensein einer großen Lunkerstelle erkennen läßt.

Es ist naturgemäß, daß diese Lunker bei kleinen Blöcken nur in verschwindendem Maße zur Ausbildung gelangen, daß sie dagegen ganz besonders störend auftreten bei der Herstellung großer Blöcke, die insbesondere zur Erzeugung hochwertiger Fabrikate, z. B. Schiffswellen u. dgl., bestimmt sind. Besitzt ein solcher Block beispielsweise das Gewicht von 30—60000 kg, so müssen ev. 10- bis 20000 kg des wertvollen Materials abgeschnitten werden und können nur, unter Aufwendung beträchtlicher Unkosten für ihre Zerkleinerung, als Schrott verwendet werden.

Es ist natürlich, daß sich die Fachwelt vielfältig mit der Aufgabe beschäftigt hat, die erwähnten Übelstände zu vermeiden. Von hierfür geeigneten Verfahren befinden sich zurzeit zwei voneinander gänzlich unabhängig entwickelte Prozesse in Anwendung.

Der eine derselben verhütet die Lunkerbildung dadurch, daß die natürlichen Erstarrungsvorgänge eines Blockes so ausgestaltet werden, daß der Kopf des Blockes durch

Beheizung desselben so lange flüssig erhalten wird, bis das Blockinnere vollkommen erstarrt ist. Der Erfinder desselben, Direktor Riemer von der Firma Haniel & Lueg

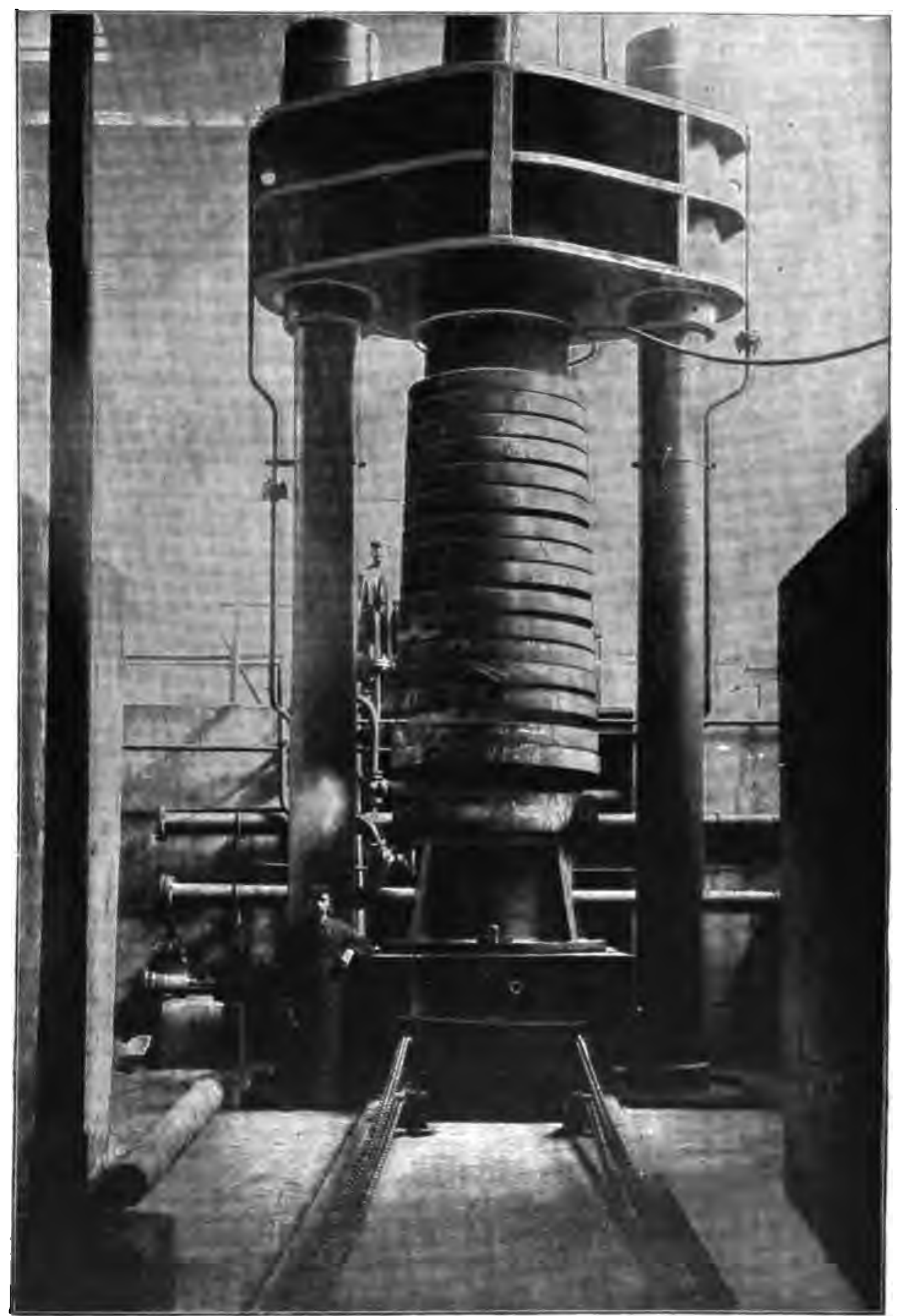


Abbildung 35. Akt.-Ges. Oberbilker Stahlwerk in Düsseldorf-Oberbilk: Pressen eines Blockes nach dem Harmetverfahren.



Abbildung 36. Gewerkschaft Deutscher Kaiser in Bruchhausen:
Aufstellung von Harmetpressen und Gießen eines Blockes in eine Harmetkokille.

in Düsseldorf, setzt auf den gegossenen Block eine Haube aus feuerfestem Material, die mit Gas- und Luftzuführungskanälen versehen ist, und läßt auf diese Weise eine Flamme von hoher Temperatur auf die Blockoberfläche einwirken, was zur Folge hat, daß dieser Teil des erstarrenden Blockes noch eine Stunde oder länger nach dem Gießen flüssig erhalten werden kann.

Infolge dieser Anordnung kann nun beim Erstarren sowohl aus dem flüssigen Material das Gas frei nach oben entweichen, als auch das im Kopfe des Blockes vorhandene flüssige Eisen unbehindert der Volumenverminderung der tieferliegenden Blockanteile nachfolgend nach unten sinken. Es wird daher statt des tief in den Block hineinreichenden Lunkers eine Höhlung am obersten Ende des Blockes gebildet, die an und für sich unschädlich ist, weil derartig kleine Anteile des Blockes sowieso bei der weiteren Verabeitung aus anderen Betriebsgründen abgeschnitten werden müssen. Herr Riemer erzielt also mit seinem Verfahren aus gut durchgeschmolzenem Material einen vollständig poren- und lunkerfreien Block, wie Abbildung 34 beweist, in der wiederum ein Längsschnitt durch einen derartigen Block zur Darstellung gebracht ist.

Das zweite der in dieser Beziehung gegenwärtig in größerem Umfange in Verwendung stehenden Verfahren verdankt seine Entstehung dem französischen Ingenieur Harmet. Der nach ihm dargestellte Stahl wird daher Harmetstahl genannt. Der Erfinder benutzt die Eigenschaft der Schmiedbarkeit des im Erstarren befindlichen Flußeisens, indem er während der ganzen Erstarrungszeit das Material in für diesen

Zweck besonders angefertigten, mit starken schmiedeeisernen Ringen gepanzerten, nach oben sich etwas verjüngenden Kokillen unter starken hydraulischen Druck setzt.

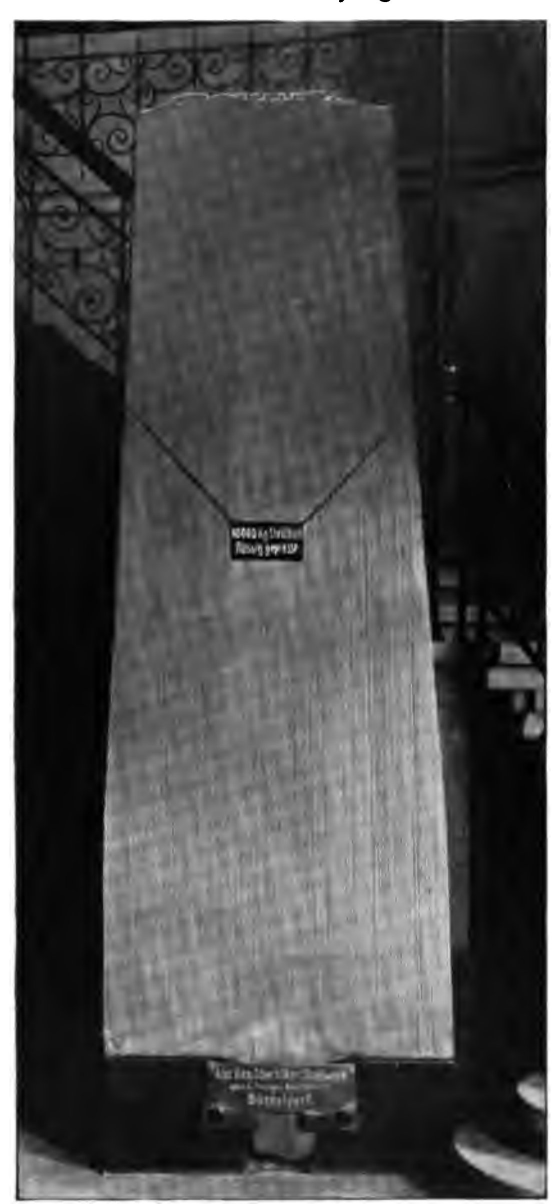


Abbildung 37. Akt.-Ges. Oberbilker Stahlwerk in Düsseldorf-Oberbilk: Durchschnittener Stahlblock nach dem Verfahren von Harmet hergestellt.

Man kann dadurch natürlich die Entbindung der im flüssigen Eisen gelösten Gase während des Erstarrens nicht verhindern, aber diese Gase treten durch mikroskopisch kleine Poren nach außen, die infolge des ausgeübten starken Drucks sich sofort wieder verschließen. Eine Lunkerbildung kann unter diesen Umständen ebenfalls nicht eintreten, da die Volumenverminderung des im Innern des Blockes erstarrenden Materials nunmehr ausgeglichen wird durch die dauernde Einwirkung des starken, auf die äußeren Wände des Blockes ausgeübten Drucks, so daß also während der ganzen Erstarrungszeit eine dem Vorgange des Schmiedens ähnliche Querschnittsverminderung des Blockes eintritt. Damit dies auch im ganzen Block vor sich geht, ist die Kokille, wie erwähnt, nach obenhin konisch gestaltet, während der hydraulische Druck von unten her durch einen verschiebbaren Stempel ausgeübt wird, dem, um ein Hinauspressen des flüssigen Materials nach oben zu verhüten, ein kleinerer Stempel oben entgegenwirkt. Damit die Kokille während der Preßdauer, also während der Erstarrungszeit des Blockes, durch das an der inneren Wand fortwährend stattfindende innige Anliegen des glühenden Materials selbst nicht zum Glühen gebracht wird, läßt man dauernd ziemlich kräftige Strahlen kalten Wassers über die Kokille herabrieseln. Das hat überdies zur Folge, daß die Abkühlungsgeschwindigkeit eines in der Harmetpresse befindlichen Blockes sehr viel größer ist als diejenige eines auf dem gewöhnlichen Wege erkaltenden. Auch hierdurch wird eine günstige Beeinflussung auf das Material ausgeübt, indem Saigerungserscheinungen, welche sonst unvermeidlich eintreten und zur Folge haben, daß im Kopfe des Blockes sich Material von geringerer Qualität als im Fuße befindet, beim Harmetverfahren kaum Zeit haben, sich auszubilden.

Abbildung 35 zeigt einen in einer derartigen Kokille befindlichen Block in der hydraulischen Presse stehend; Abbildung 36 läßt erkennen, in welcher Weise Harmet-

pressen im Stahlwerk der Gewerkschaft Deutscher Kaiser in Bruckhausen zur Aufstellung gelangt sind und wie das Gießen eines Blockes unter Anwendung der Harmetkokille ausgeführt wird; und in Abbildung 37 ist zum Vergleich wiederum ein nach diesem Verfahren hergestellter Block dargestellt, der in der Längsrichtung durchschnitten ist; wie diese Abbildung zeigt, ist der Block vollkommen frei von irgendwelchen Gasporen oder Lunkern.

Die Anwendung des Harmetverfahrens erfordert, wie aus der Beschreibung hervorgeht, die Beschaffung eines nicht unbeträchtlichen mechanischen Apparats, insbesondere wenn eine größere Zahl von Blöcken der Pressung während der Erstarrung des Stahls unterzogen werden soll, aber das Verfahren besitzt den Vorzug, daß es mit seiner Hilfe möglich ist, in ökonomischem Betriebe die verdichtende Wirkung auch kleineren Blöcken in größerer Zahl gleichzeitig angedeihen zu lassen.

Immerhin sind die Unkosten beider Verfahren doch so beträchtlich, daß zur Erzeugung des gewöhnlichen billigen Handelsprodukts von ihnen heute eine Anwendung nicht gemacht werden kann.

Bei den modernen Prozessen der Gewinnung des schmiedbaren Eisens und des Stahls findet, wie wir gesehen haben, eine erste Formgebung des Materials durch Gießen in Kokillen statt. Diejenige Form, in welche das Material übergeführt werden soll, um wenigstens als vorläufiges Fertigprodukt angesehen werden zu können, wird dem schmiedbaren Eisen überwiegend durch die weitere Verarbeitung desselben auf dem Wege des Walzens, Schmiedens oder Pressens verliehen.

Eine nicht unbeträchtliche Menge des erzeugten Stahls insbesondere wird indessen auf dem Wege des Gießens in endgültige Formen überführt.

Da diese Manipulation im Prinzip vollkommen gleich ist der Verarbeitung eines wesentlichen Anteils des im Hochofen erzeugten Roheisens — in Deutschland etwa des sechsten Teils der Gesamterzeugung —, nämlich des Gießereiroheisens zu gußeisernen Fertigprodukten, so sollen diese Arbeitsvorgänge hier im Zusammenhang geschildert werden.

ERZEUGUNG VON GUSZWAREN AUS ROHEISEN UND STAHL

Bei Gelegenheit der Schilderung des Hochofenprozesses ist bereits hervorgehoben worden, daß Eisen in Sandformen gegossen werden kann, aber es ist dort nicht näher dargelegt worden, wie diese Operation ausgeführt wird.

Es ist bekannt, daß sich aus Sand, so wie er gewöhnlich weit verbreitet gefunden wird, insbesondere wenn er angefeuchtet worden ist, mehr oder weniger leicht körperliche Figuren bilden lassen. Diese zerfallen aber im allgemeinen wieder, sowie der Sand trocken geworden ist. Die Fähigkeit, auch in diesem Falle die einmal vorhandene Form zu bewahren und sogar gegen die Zerstörung derselben einen nicht unbeträchtlichen Widerstand zu entwickeln, besitzt allein derjenige Sand, der nicht aus reinen Kieselkörnern besteht, sondern der außerdem einen mehr oder minder großen Bestandteil toniger, bindender Substanzen enthält.

Um aber für Formereiarbeiten geeignet zu sein, darf ein solcher Sand in seinen einzelnen Körnern nicht zu grob, aber auch nicht zu fein sein, und sein Tongehalt darf nicht über eine gewisse Grenze hinausgehen.

Ist der Sand, wie in diesem Falle die gießtechnische Bezeichnung lautet, zu fett, so drücken sich bei der Ausübung der Formarbeit die einzelnen Partikelchen des

Sandes derart fest aneinander, daß eine für Gase vollkommen undurchlässige Masse entsteht. Ein derartiges Material würde für Formereizwecke unbrauchbar sein. Ein guter Formsand soll feste Formen geben, aber er muß trotzdessen eine nicht unbeträchtliche Porosität besitzen.

Aus derartigem Material kann man unmittelbar Formen herstellen. Wenn aber die Oberfläche der Gußstücke glatt sein, überhaupt ein gutes Ansehen haben soll, so ist es erforderlich, dem Formsande noch eine gewisse Menge organischer Körper, Kohlepulver oder dergleichen, hinzuzufügen, die beim Eingießen des flüssigen Metalls in die Form eine gewisse, nicht allzu große Menge von Gasen entwickeln und dadurch ein Anbrennen des Metalls an die Formwand verhüten.

Hat man nun aus solchem Material eine Form hergestellt, so kann diese entweder mit der dem Sande innewohnenden Feuchtigkeit für den Guß verwendet werden, oder man kann die Form erst einem Trocknungsprozeß unterwerfen und dann das Gießen folgen lassen. Die erstere Arbeitsart ist billiger, und sie wird deshalb fast ausnahmslos da angewendet, wo es auf billige Massenerzeugung nicht allzu komplizierter Gußstücke ankommt, während das vorherige Trocknen der Formen überwiegend bei der Anfertigung schwieriger zu erzeugender Gußstücke angewendet zu werden pflegt.

Wird heißes Metall in eine nasse Sandform gegossen, so muß zunächst aus dem Inneren der Form diejenige Luftmenge verdrängt werden, die sie anfüllt; es müssen



Abbildung 38. Skodawerke, A.-G. in Pilsen: Gießhalle der Stahlgießerei.



Abbildung 39. Skodawerke, A.-G. in Pilsen: Gießhalle der Stahlgießerei.

dann aber auch alle diejenigen Mengen von Gas und Wasserdampf aus der Form entweichen können, die durch die Einwirkung des heißen Metalls auf den kalten feuchten Sand in großer Menge gebildet werden; im Normalfalle erfolgt die Abführung dieser Gase und Dämpfe durch die Poren des Formsandes hindurch. Ist dieser indessen zu dicht, oder ist der Formsand zu naß und sind daher die zur Entwicklung kommenden Dampfmengen zu groß, so entsteht ein sogenanntes Kochen der Form, d. h. das flüssige Eisen wird durch die gebildeten Wasserdampfmengen mit großer Energie aus den Eingußstellen wieder herausgeschleudert, die Wandung der Form wird im allgemeinen zerstört und ein löcheriges, unbrauchbares Gußstück geliefert. Beim Gießen in nassem Sand wird natürlich auch das Metall verhältnismäßig rasch abgekühlt, bei dünner Wandung sogar abgeschreckt, so daß harte Stellen aus weißem Eisen entstehen.

Diese Übelstände werden durch das Trocknen der Formen vermieden.

Man ist indessen in der Eisen- und Stahlgießerei nicht lediglich auf die Verwendung von Formsand zur Herstellung von Formen angewiesen, sondern man fertigt derartige Formen für bestimmte Zwecke auch aus sandigem Lehm an, der zur Erzielung einer gewissen Porosität mit organischen Körpern, Häcksel, Spreu, Pferdedung u. dgl., vermischt wird. In dieser Formmasse kann nur nach sorgfältig durchgeführter Trocknung gegossen werden; sie besitzt aber dann eine wesentlich größere Widerstandsfähigkeit gegen Zerstörung durch die während des Gießens auf die Wandungen der Form einwirkenden Kräfte als die Sandformen. Das Formen in einer



Abbildung 40. Gebr. Sulzer in Winterthur: Formerei für Kleineisenguß.

lehmähnlichen Masse wird deshalb überwiegend angewendet für die Herstellung ganz besonders komplizierter und großer Gußstücke. Man verwendet im allgemeinen derartige Massen auch zur Herstellung von Kernen, d. h. von Formteilen, die unabhängig von der äußeren Form hergestellt werden und mit ihr erst kurz vor dem Gießen vereinigt werden. Es sind dies überwiegend Formteile, welche beim Gießen mehr oder minder vollständig von flüssigem Metall umgeben werden. Naturgemäß muß gerade bei ihnen in sorgfältigster Weise darauf Rücksicht genommen werden, daß die in ihrem Inneren entwickelten Gase oder Dämpfe aus den Formen heraustreten können, ohne daß sie gezwungen sind, ihren Weg durch das Metall zu nehmen, was wiederum Veranlassung zum Kochen geben würde. Da Lehmkerne außerordentlich empfindlich gegen Feuchtigkeit sind, können sie im allgemeinen nur im Inneren von getrockneten Formen zur Anwendung gelangen.

Um ganz glatte Flächen an der Oberfläche zu erzielen, pflegt man die fertige Form mit Holzkohlepulver einzustäuben oder mit einem dünnen Brei von in Wasser aufgeschlemmtem Graphit anzustreichen.

Aus dem Erörterten geht hervor, daß die Herstellung geeigneten Formmaterials eine Aufgabe von hoher Bedeutung für die Eisen- und Stahlgießerei ist. Jede Gießerei besitzt deshalb besondere Einrichtungen für die Herstellung dieses Materials.

Die Ausübung der Formarbeit selbst ist nun eine Kunst, zu deren Erlernung die betreffenden Arbeiter einen nicht geringen Grad von Intelligenz besitzen müssen. Das Formen geschieht von Hand, wenn Einzelstücke hergestellt werden sollen, oder wenn die Zahl der Stücke gleicher Dimensionen nur eine beschränkte ist. Soll eine größere Zahl von Stücken derselben Dimension angefertigt werden, so kann man zur

Herstellung der Formen für diesen Zweck speziell ausgebildete Maschinen hilfsweise verwenden; die Arbeit der menschlichen Hand wird auch hierbei niemals vollständig entbehrlich.

Die Handformerei wird entweder unter Anwendung von Modellen ausgeübt, oder es werden einzelne Stücke mit Hilfe von Schablonen oder dergleichen nach Zeichnung hergestellt.

Das Formen nach Modellen vollzieht sich im allgemeinen derart, daß der herzustellende Gegenstand in Holz, seltener in Metall angefertigt wird. Das Modell muß indessen in jeder Dimension um die Größe der Schwindung, die das Metall beim Gießen erleidet, größer gemacht werden als der spätere fertige Gegenstand. Die Schwindung beträgt bei Gußeisen etwa 1 %, beim Vergießen von Stahl ca. 2 % in jeder Dimension.

Das Modell weicht auch noch in einer anderen Hinsicht vom fertigen Körper ab. Es muß bisweilen, um die Formarbeit möglich zu machen, in mehrere Teile zerlegt werden, es muß Ansätze an denjenigen Stellen erhalten, an denen später Kerne eingelegt werden sollen u. dgl. mehr.

Ein solches Modell wird nun in Formkästen mit Formsand umstampft. Die Anwendung von meistens eisernen Formkästen ist erforderlich, um das Formmaterial während des Gießens zusammenzuhalten und um die Form vor dem Gießen transportfähig zu machen. Der Formkasten muß so eingerichtet sein, daß nach Beendigung des Formens das Modell aus dem Sande herausgehoben werden kann. An der Form



Abbildung 41. Gebr. Sulzer in Winterthur: Formerei für große Gußstücke.

werden zum Zwecke des Hineingießens in dieselbe Öffnungen angebracht, die man Gießtrichter nennt. Ähnliche Gestalt erhalten diejenigen Kanäle, welche beim Gießen die in der Form befindliche Luft nach außen leiten sollen.

Im allgemeinen wird, wie aus den bisherigen Erörterungen hervorgeht, jede derartige Form nur einmal verwendet; sie muß nach dem Gießen zerstört werden, um den fertigen Gegenstand aus derselben entfernen zu können.

In neuester Zeit hat man dagegen die Herstellung von Massengußstücken in Dauerformen aus Eisen eingeführt, die so gestaltet werden müssen, daß sie unmittelbar nach Beendigung des Gusses, sowie das Metall in der Form eben aus dem flüssigen in den festen Zustand übergegangen ist, in allen Teilen auseinandergenommen werden können, um nach sofortiger Wiederzusammenfügung einem zweiten oder folgenden Gusse zu dienen.

Man stellt aus flüssigem Eisen Gußstücke von wenigen Gramm Gewicht her bis zu der Schwere von ca. 100000 kg für das einzelne Stück.

Die Durchführung der Formarbeit und die Ausführung des Gießens kann mit ökonomisch günstigem Erfolge nur stattfinden in Räumen, die für den beabsichtigten Zweck sachgemäß ausgestaltet worden sind, sowohl hinsichtlich der Schaffung einer genügenden Beleuchtung, die meistens durch Oberlicht erfolgt, als auch hinsichtlich einer ausgiebigen Ausrüstung mit Vorrichtungen zur Bewältigung der hierfür erforderlichen Massentransporte.

Die Abbildungen 38 und 39 gewähren Überblicke in die Gießhallen einer Stahlgießerei, Abbildung 40 über eine Formerei für Kleineisenguß, die Abbildungen 41, 42 und 43 über Formerei- und Gießereihallen für große Gußstücke.



Abbildung 42. Gebr. Sulzer in Winterthur: Formerei für große Gußstücke.



Abbildung 43. Firma Ehrhardt & Sehmer, Saarbrücken: Ansicht der Gießhalle für große Stücke.

In frühester Zeit hat man das für die Erzeugung von Gußstücken bestimmte Eisen unmittelbar dem Hochofen entnommen. Das war ohne weiteres angängig, solange der Hochofenbetrieb unter Verwendung von Holzkohle durchgeführt wurde. Bei der Verwendung von Koks ist dies im allgemeinen nicht mehr durchführbar, weil einerseits die Anforderungen hinsichtlich der chemischen Zusammensetzung des für die Gießerei zu verwendenden Eisens je nach dem Verwendungszweck der Gußstücke ziemlich verschieden sind und weil zweitens insbesondere moderne große Koksöfen Eisen einer chemischen Zusammensetzung zu liefern pflegen, welches für die direkte Verwendung zu Gußstücken, eben seiner Zusammensetzung nach, nicht geeignet ist. Es gibt heute nur noch wenige Hütten, die für Gußstücke bestimmter Art das Eisen einem für diesen Zweck eigenartig betriebenen, nicht sehr großen Kokshochofen entnehmen. Alle ürigen Gießereien erzeugen, wie der handelsübliche Ausdruck lautet, Gußwaren zweiter Schmelzung, d. h. sie verwenden Eisen, welches nach der Erzeugung im Hochofen vollständig kalt geworden ist, und unterwerfen dieses einer nochmaligen Schmelzung in anderen Öfen.

Diese Ausbildung des Gießereibetriebes ermöglicht zunächst ein Erschmelzen des flüssigen Eisens aus einer beliebig großen Zahl verschiedener Roheisenqualitäten und Gattungen, und sie gestattet ferner, dem Gießereischmelzbetriebe wieder in beträchtlichem Maße Gußeisen zuzuführen, welches bereits früher einmal zur Erzeugung von Gußwaren gedient hat, d. h. also alte Gußstücke, die als Schrott zu einem billigeren Preise als Roheisen käuflich erworben werden können, wieder einzuschmelzen.

Das Schmelzen des zu vergießenden Eisens erfolgt in mehr als 90 % aller Fälle in Kupolöfen — Schachtöfen — ausgeführt nach den Abbildungen 44 und 45.

Der Betrieb derartiger Öfen wird im Prinzip genau so durchgeführt wie derjenige der Hochöfen, nur besteht hier der Unterschied, daß vom Ofen lediglich die Schmelzarbeit zu leisten ist, weil die Notwendigkeit, das Eisen aus seinen Erzen zu reduzieren, fortfällt, und weil Schlacken nur insoweit gebildet werden, als die unvermeidlichen Aschenbestandteile des Koks zu schmelzen und mit einem gewissen Abbrande des Eisens in der Form von Schlacke abzuführen sind. Zu diesem Zwecke muß ein bestimmter Zuschlag an Kalkstein dem Ofenbetrieb zugeführt werden.

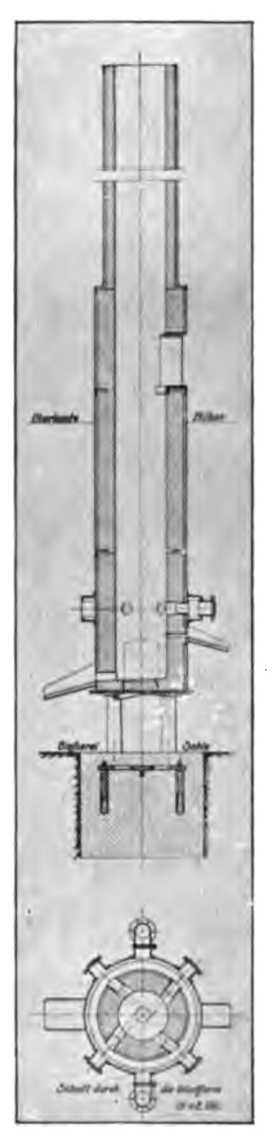


Abbildung 44. Kupolofen ohne Vorherd.

Zwischen dem Kupolofen und dem Hochofenbetrieb besteht fernerhin ein wesentlicher Unterschied darin, daß der letztere möglichst ununterbrochen so lange durchgeführt wird, wie der Ofen noch betriebsfähig ist, während der für Gießereizwecke betriebene Kupolofen täglich für eine gewisse Schmelzleistung neu in Betrieb genommen zu werden pflegt. Es kann deshalb zwischen je zwei Schmelzungen im Inneren des Kupolofens eine den Verschleiß hintanhaltende Ausbesserung vorgenommen werden.

Diese Fähigkeit des Kupolofens, die täglichen In- und Außerbetriebsetzungen ertragen zu können, innerhalb kurzer Zeit vom Stillstand in vollen Betrieb übergeführt werden zu können, und ferner die in ökonomischer Hinsicht vorzüglichen Leistungen dieses Ofensystems sind es, welche ihm eine in den Gießereibetrieben dominierende Stellung verschafft haben. Während im Hochofen pro kg zu erzeugenden Roheisens ungefähr 1 kg Koks aufgewendet werden muß, erfordert der Kupolofenbetrieb nur einen Aufwand von 0,07—0,10 kg, also weniger als den zehnten Teil derjenigen Menge, die der Hochofen verbraucht; hinsichtlich des Brennmaterialverbrauchs ist der Kupolofen überhaupt der mit dem günstigsten Nutzeffekt arbeitende hüttenmännische Apparat.

Die am häufigsten angewendete Konstruktion von Kupolöfen ist diejenige Form, die in Abbildung 44 zur Darstellung gebracht worden ist, d. h. also der einfache zylindrische Ofen aus feuerfestem Material, das durch einen umschließenden Blechmantel zusammengehalten wird. In ihm spielen sich die Schmelzvorgänge fast ganz so ab, wie dies beim Hochofenbetrieb näher geschildert worden ist. Im Herde des Ofens sammelt sich flüssiges Eisen, überdeckt von Schlacke. In die beiden Flüssigkeiten wird durch die Last der darüberliegenden Beschickung der vor den Formen unverbrannte Koks bis auf den Boden des Herdes hinuntergedrückt. Das geschmolzene Eisen steht also in längerer unmittelbarer Berührung mit Koks und muß sich deshalb mit Kohlenstoff sättigen. Ist im Hinblick auf die zu erzeugenden Gußstücke die Erschmelzung eines kohlenstoffärmeren Eisens erforderlich, so pflegt man einen Kupolofen nach Abbildung 45 anzuwenden. Aus dem Herde dieses Ofens tritt das erschmolzene Eisen und die Schlacke kontinuierlich in den Vorherd über und wird dadurch der unmittel-

baren Berührung mit Koks entzogen. In einem Vorherde kann man etwa diejenige Menge an Eisen, die der zugehörige Kupolofen in einer einstündigen Schmelztätigkeit liefert, ansammeln.

Wollte man dem Vorherd wesentlich größere Dimensionen geben, so würde ohne besondere Heizung desselben, die nur durch komplizierte Einrichtungen zu ermöglichen wäre, das im Vorherd aufgespeicherte Eisen zu kalt werden. Die stündliche Leistungsfähigkeit eines Kupolofens hängt nun ziemlich vollständig von der Größe des Ofenquerschnittes ab; dem Durchmesser und der Höhe des Ofens muß die Größe der verwendeten Windpressung angepaßt werden, damit die einzelnen Luftströme auch bis in die Mitte des Herdes eindringen und die Schmelzarbeit im ganzen Querschnitt möglichst gleichmäßig erfolgt. Die Kupolofenarbeit kann deshalb in ökonomisch günstiger Weise nur bei vollem Betrieb des Ofens durchgeführt werden. Daraus geht hervor, daß die Größe des Ofens dem jeweilig stündlichen Bedarf der Gießerei an geschmolzenem Eisen angepaßt werden muß. Eine gut eingerichtete Eisengießerei muß deshalb über eine gewisse, nicht allzu kleine Anzahl von Kupolöfen verschiedener Größe verfügen. Die Abbildungen 46 und 47 zeigen uns, wie man diese Öfen in Gießereien aufzustellen pflegt. Sind Gußstücke herzustellen, deren Gewicht größer ist als etwa die Stundenleistung des zur Verfügung stehenden Kupolofens, so müßte eine längere Aufspeicherung des geschmolzenen Eisens stattfinden, die bei großen dickwandigen Gußstücken auch wohl bis zur äußersten Zeitdauer von zwei Stunden erfolgen kann. Im Normalfalle müssen dagegen für die Herstellung von Gußstücken, deren Gewicht über das normale Maß wesentlich hinausgeht, mehrere Öfen in Betrieb genommen werden, oder man muß zur Verwendung von Flammöfen übergehen, deren Bauart durch Abbildung 48 angedeutet sein mag. Im Herde derartiger Flammöfen kann im Prinzip die Aufspeicherung beliebig großer Mengen Eisen vorgenommen werden. Das Schmelzen im Flammofen gegenüber dem Schmelzen im Kupolofen gewährt auch den nicht zu unterschätzenden Vorteil, daß von dem geschmolzenen Metall vor seiner Verwendung Proben entnommen werden können, die nach praktisch bewährten Versuchsregeln zu beurteilen gestatten, ob die chemische Zusammensetzung des erschmolzenen Materials der beabsichtigten Anforderung entspricht. Ist dies nicht der Fall, so kann im Flammofen eine Korrektur dieser Zusammensetzung vorgenommen werden, welche Maßnahme der Kupolofenbetrieb naturgemäß nicht gestattet. Der Flammofen dient deshalb in vielen Fällen zur Erzeugung besonderer Qualitäten von Gußprodukten, z. B. zum Erschmelzen des Eisens für die Herstellung von Walzen, Hartgußstücken u. dgl. Der Brennmaterialverbrauch des Flammofens ist aber wesentlich höher als der des Kupolofens.

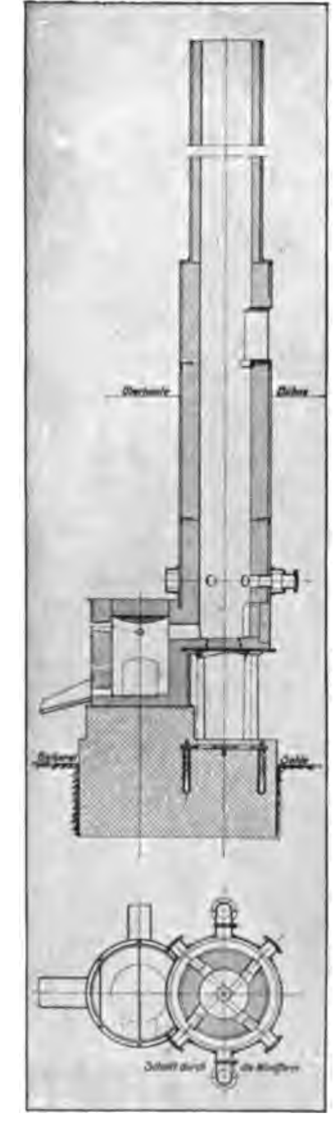


Abbildung 45. Kupolofen mit Vorherd.

Die in beiden Ofenarten erzielbare Temperatur reicht indessen im allgemeinen nur aus, um Gußeisen zu erschmelzen; sie genügt nicht für die Erzeugung von Stahlguß. Das Erschmelzen von Stahl für Gießereizwecke erfolgt deshalb fast ausschließlich in den früher geschilderten Siemens-Martinöfen.

Das in allen vorgenannten Öfen flüssig gemachte Eisen wird auf dem Wege des Abstechens, wie aus einem Hochofen, entleert. Das aus dem Ofen ausfließende Material wird in Gießpfannen (Abbildung 49 u. 50) aufgefangen, die durch Laufkrane nach derjenigen Stelle der Gießerei gefahren werden, an der sich die für den Abguß hergerichtete Form befindet. Aus diesen Pfannen erfolgt das Ausgießen, bei Gußeisen durch Kippen der Pfannen um ihre Drehzapfen, beim Vergießen von Stahl durch Anheben einer Stopfenstange, die ventilartig eine Öffnung im Boden der Pfanne verschließt.

Bei der Herstellung kleiner Gußstücke wird das Eisen entweder aus der größeren Gießpfanne in kleine Handpfannen verteilt, die von den Gießereiarbeitern dann zum Gießen benutzt werden, oder es wird in eine kleine Pfanne das aus dem Kupolofen abfließende Eisen direkt aus dem laufenden Strahl abgefangen, wenn das Eisen mit Rücksicht auf die Dünnwandigkeit der zu erzeugenden Gußstücke besonders heiß zum Gießen gelangen soll.

Der Betriebsverlauf der Arbeiten einer Gießerei ist nun im allgemeinen der, daß



Abbildung 46. Firma Ehrhardt & Sehmer, Saarbrücken: Kupolofenanlage.

die Herstellung derjenigen Formen, welche, ohne daß eine Trocknung des Sandes erfolgt, zum Vergießen kommen sollen, im Laufe des ersten Teils des Tages stattfindet, während das Schmelzen und Gießen gewöhnlich in die Nachmittagsstunden verlegt wird. Es geschieht dies, um am Schluß der Tagesarbeitszeit den Gießereiraum und die gegossenen Gußstücke zum Zwecke der Abkühlung sich selbst überlassen zu können. Am anderen Morgen findet dann die Ausleerung der Formkästen, das Hinausschaffen der hergestellten Gußstücke nach der Putzerei und die Überführung des gebrauchten Formsandes nach der Formsandaufbereitung statt, so daß wenige Stunden nach Beginn der Tagesschicht wieder die eigentliche Formarbeit beginnen kann. In der Gießerei wird dementsprechend nur in den seltensten Fällen nachts gearbeitet. Die Herstellung derjenigen Formen, welche getrocknet werden sollen, muß wenigstens am Abend vorher geschehen sein, damit es möglich ist, sie die Nacht über in einen Trockenofen einzusetzen.



Abbildung 47. Gebr. Sulzer, Winterthur: Kupolofenanlage.

Die Herstellungszeit komplizierterer oder größerer Formen erstreckt sich naturgemäß auf mehrere Tage oder Wochen. Es kann auch mehrfaches Trocknen, z. B. großer Kerne oder Lehmformen, erforderlich sein.

Die Arbeit in einer Gießerei gehört zu den schwereren der hüttenmännischen Arbeiten. Es ist während des Gießens und Ausleerens unmöglich, den Hüttenraum freizuhalten von brenzligen Gasen, von erheblichen Mengen von Staub und dergleichen. Bei einigermaßen intensivem Betrieb findet auch eine beträchtliche Erhöhung der Temperatur im Arbeitsraum statt. Anderseits sind die Former des Tags über häufig gezwungen, in knieender oder gebückter Stellung im feuchten Sande zu arbeiten, dessen Temperatur in der Winterzeit wenig über dem Gefrierpunkt sich befindet.

Eine Heizung läßt sich in dem Gießereiraum an und für sich nur sehr schwer anbringen, weil beispielsweise die Rohre einer Dampfheizung überall hinderlich sein würden, außerdem würde in geheizten Räumen ein sehr ungleichmäßiges und deshalb die Arbeit störendes und schädigendes Austrocknen des Formsandes stattfinden.

Auch bei umfänglicher Verwendung von Formmaschinen zur Erleichterung und Verbilligung des Formens bleibt doch die körperliche Inanspruchnahme des Formers ziemlich bedeutend.

In dem Abschnitt über das Martinofenverfahren und die Aufgabe des Gießens von Stahl in Kokillen ist des Umstandes gedacht worden, daß erstens der Martinofen nur in verhältnismäßig geringem Grade gestattet, Stahl über seinen Schmelzpunkt zu erwärmen, und es ist ferner hervorgehoben worden, daß Stahl immer beträchtliche Mengen von Gasen enthält. Aus dem ersteren Grunde ist es nur mit relativ großen Schwierigkeiten möglich, dünnwandige Gußstücke aus Stahl herzustellen, ferner muß mit Rücksicht auf die unvermeidliche Lunkerbildung jedes Stück mit relativ sehr großen sogenannten verlorenen Köpfen versehen werden, d. h. es muß die Form so hergestellt werden, daß in derselben oberhalb des eigentlichen zu erzeugenden Gußstückes noch beträchtliche Mengen von Stahl Aufnahme finden, und sie müssen in so kompakten Klumpen angeordnet sein, daß die Erstarrung derselben wesentlich später erfolgt als diejenige des Gußstückes. Nur durch diese Maßnahme ist es möglich, daß während der Erstarrung des Gußstückes eine durch die Volumenverminderung sonst unvermeidlich eintretende Lunkerbildung innerhalb desselben vermieden wird, wenn eben die verlorenen Köpfe so eingerichtet werden, daß aus ihrem Innern immer noch flüssiger Stahl in das Gußstück hinübertreten kann, solange dort noch eine Volumenverminderung mit Lunkerbildung vor sich gehen würde. Die unvermeidlichen Lunker müssen also in den verlorenen Köpfen angehäuft sein. Das Abschneiden dieser Köpfe oder Trichter erfordert einen erheblichen Aufwand an Maschinenarbeit und bedingt einen Materialverlust, der sich mitunter auf 30—50 % des fertigen Gußstückes belaufen kann. Wenn auf diese Weise die Lunkerbildung vermieden werden kann, so wird trotz der Wirkung der verlorenen Köpfe die Eigentümlichkeit des Stahls, beim Abkühlen und Erstarren stark zu schwinden, nicht aufgehoben. Würde man daher Stahlgußstücke in Formen herstellen, bei denen mehr oder minder große Partien von Formmasse oder von Kernen vom Stahl umschlossen werden, so würde, falls man die Erstarrung des Stahls sich ohne weiteres in den Formen vollziehen lassen würde, ein Zerreißen des Gußstückes eintreten müssen, da in der hohen Temperatur, während welcher die hauptsächlichste Schwindung vor sich geht, die Festigkeit des eben gegossenen Stahls noch außerordentlich gering ist. Will man daher rißfreie Stahlgußstücke erzeugen, so ist es unbedingt erforderlich, die Formkästen unmittelbar nach der Erstarrung des Stahls zu öffnen und die noch in hoher Temperatur befindlichen Stahlgußstücke aus der Formmasse herauszuheben.

Aber auch hierdurch werden noch keineswegs tadellose Gußstücke erhalten, sondern infolge der starken Schwindung entstehen innerhalb des Materials so beträchtliche Gußspannungen, daß nach dem Erstarren und Abkühlen der Gußstücke noch ein ein- bis zweimaliges, vielstündiges Ausglühen derselben stattfinden muß, um den Schrumpfspannungen Gelegenheit zu geben, sich auszugleichen.

Eine weitere Schwierigkeit bietet der bereits erwähnte Gasgehalt des Stahls. Würden in den Formen beim Erstarren des Stahls sich Gase in dem Maße entwickeln, wie dies bei der Erzeugung von Flußeisen geschildert worden ist, so würde die gesamte Masse des Gußstückes von Gasblasen durchsetzt sein, die in diesem Falle nicht

mehr zur Verschweißung gebracht werden könnten, da ja ein nachträgliches Ausschmieden der Gußstücke nicht durchgeführt werden kann. Es ist also erforderlich, durch sorgfältigste Vornahme der Desoxydation und Rückkohlung im Martinofen und durch ein genügend langes Abstehen des Materials in hoher Temperatur die Gase bis zu demjenigen Grade aus dem Stahl auszutreiben, der eine Herstellung gesunder Gußstücke gestattet.

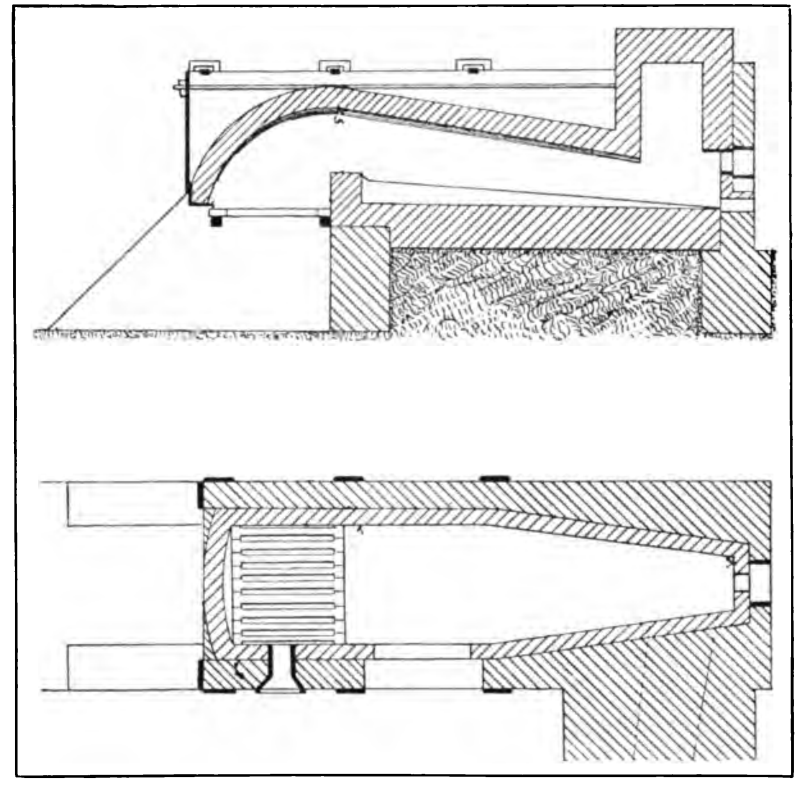


Abbildung 48. Flammofen.

Da bei einem längeren Verweilen des Bades im Ofen nach der Rückkohlung durch die unvermeidlich oxydierende Flamme des Martinofens wieder eine Frischung, also eine Neubildung von Eisenoxydul stattfindet, bedarf es großer Sorgfalt, Erfahrung und Geschicklichkeit, denjenigen Moment für den Abstich der Chargen zu bestimmen, in dem eine Zusammensetzung des Bades vorliegt, die den Betriebsanforderungen entspricht.

Durch die Hinzufügung eines gewissen Siliziumgehalts zum Stahl wird die Lösungsfähigkeit des Materials für Gase beträchtlich vermindert, ebenso durch die Anwesenheit einer nicht zu geringen Quantität von Kohlenstoff. Es ist deshalb im Martinofen nicht möglich, Gußstücke zu erzeugen, deren Material den Charakter von Schmiedeeisen trägt, sondern man muß mit der Herstellung eines mittelharten Stahls vorliebnehmen.

Erst in allerneuester Zeit sind Ofenkonstruktionen entwickelt worden, deren Anwendung auch hier wieder einen beträchtlichen Fortschritt ermöglicht hat, es sind dies die sogenannten Elektrostahlöfen.

Man kann mit Hilfe des elektrischen Stromes auf zweierlei Art und Weise hohe Temperaturen erzeugen, indem man entweder den elektrischen Strom zwischen Elektroden in der Form des Lichtbogens überspringen läßt, ähnlich wie dies bei den Bogenlampen der Fall ist, und die hierbei entstehende außerordentlich intensive Wärmestrahlung auf die zu erhitzenden Körper einwirken läßt, oder indem man elektrischen Strom durch einen metallischen Leiter hindurchschickt und die Strommenge im Verhältnis zu dem Querschnitt des zur Verfügung stehenden Leiters so groß wählt, daß der letztere durch den Widerstand, den die leitende Materie dem Hindurchtreten des

Stromes entgegensetzt, auf höhere Temperatur erwärmt wird, in gleicher Weise, wie dies bei den Fäden der elektrischen Glühlampen der Fall ist.

Von beiden Beheizungsarten ist zur Ausbildung von elektrischen Öfen Gebrauch gemacht worden. Der Lichtbogen findet beispielsweise Verwendung in den Öfen von Stassano und Héroult, die Widerstandsheizung in den Öfen von Kjellin und Röchling-Rodenhauser, und von beiden Heizungsarten wird gleichzeitig Gebrauch gemacht in den Öfen von Girod und Nathusius. Eine detailliertere Beschreibung der Öfen wird in einem anderen Abschnitt dieses Werkes gegeben.

Die Anwendung des elektrischen Stromes zur Herstellung von Stahl bietet gegenüber den bisherigen Verfahren wesentliche Vorteile, und zwar kann die Erhitzung des zu verarbeitenden Materials in neutraler Atmosphäre erfolgen, d. h. in einer Atmosphäre, welche weder oxydierend noch reduzierend auf das Bad einwirkt, wenngleich nicht bei allen Systemen elektrischer Öfen ein gleichmäßig guter Abschluß gegen das Eindringen des Sauerstoffs der atmosphärischen Luft möglich ist. Anderseits ist man in den Elektrostahlöfen in der Lage, Stahl bei wesentlich höheren Temperaturen zu erschmelzen, als sie im Martinofen erreichbar sind. Der Elektrostahlofenbetrieb bietet also den Vorteil gegenüber den bisherigen Betrieben, Stahl beliebig lange Zeit unter Einwirkung der hohen Temperatur ausgaren zu lassen und während dieses Vorganges durch Einwirkung der hohen Temperatur etwa vorher absorbierte Gase ziemlich vollkommen austreiben zu können. Endlich bewirkt die hohe Temperatur des Bades eine Dünnflüssigkeit des geschmolzenen Produktes, wie sie auf andere Weise nicht erzielbar ist. Es kann daher aus dem Elektrostahlofen Stahlformguß allererster Qualität geliefert werden, und es ist möglich, auf diesem Wege Gußstücke herzustellen, die mit Hilfe der älteren Verfahren überhaupt nicht ausführbar sein würden.

Die Beherrschung höchster Temperaturen gewährt nun aber auch die Möglichkeit, im Elektrostahlofen Legierungen aus Eisen und anderen Metallen, z. B. Wolfram, zu erzeugen, zu deren Bildung die in den sonstigen hüttenmännischen Apparaten zur Verfügung stehende Temperatur nicht oder kaum ausreichen würde.

Durch alle diese besonderen Eigenschaften ist die Darstellung von Stahl im Elektrostahlofen in sehr starkem Maße in Konkurrenz getreten mit der älteren Darstellung hochwertigen Stahls in Tiegeln, die in den vorhergehenden Darlegungen bereits erwähnt wurde.

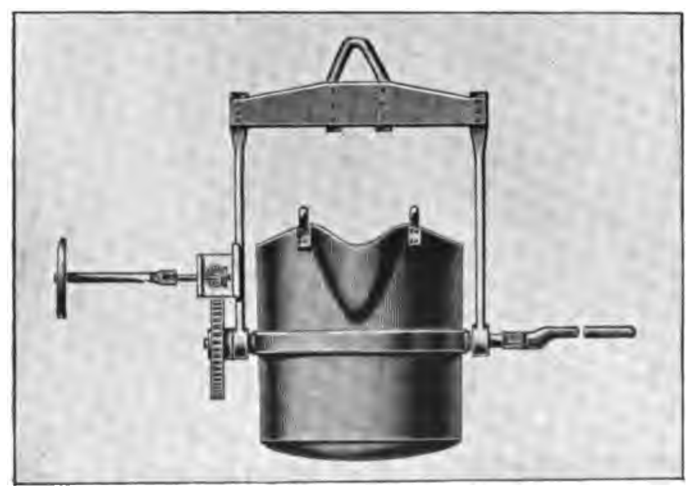


Abbildung 49. Firma Senßenbrenner, Düsseldorf-Obercassel: Gießpfanne für Gußeisen.

Der Tiegelstahlprozeß dient nicht nur zur Erzeugung von hochwertigen Schmiedestücken, sondern außerdem, und zwar bis zur Einführung der elektrischen Öfen fast ausschließlich, zur Erzeugung von Werkzeugstahl, d. h. zur Erzeugung von denjenigen Stahlqualitäten, welche in der Form des spanabhebenden Werkzeugs zur Bearbeitung von Eisen auf kaltem Wege dienen. Die Herstellung von Werkzeugstahl nimmt den

Verlauf, daß der in Tiegeln fertig geschmolzene Stahl in Kokillen gegossen wird und hierin zur Erstarrung gelangt. Bei diesem Vorgange müssen sich naturgemäß alle diejenigen Erscheinungen abspielen, die bereits früher hinsichtlich des Gießens von Stahl in Kokillen Erörterung gefunden haben, d. h. also, es muß unvermeidlich eine Lunkerbildung eintreten, und die erhaltenen Stahlblöcke können nur dann einigermaßen frei von Gasporen sein, wenn das im Tiegel erschmolzene Material selbst im Verlaufe des Prozesses vollkommen frei von Oxydulen sowie von absorbierten Gasen geworden ist. Hierin liegt die besondere Schwierigkeit der Erzeugung guten Werkzeugstahls, denn während des späteren Auswalzens der durch Gießen hergestellten Stahlblöcke kann bei diesem Material ein Zusammenschweißen von Gasblasen nicht mehr eintreten, einmal, weil die Schweißbarkeit dieser Stahle an und für sich sehr gering ist, und zweitens, weil das Auswalzen derselben infolge der besonderen Eigenschaften des hier zu verarbeitenden Materials in wesentlich niedrigerer Temperatur als das Auswalzen weichen Flußeisens erfolgen muß.

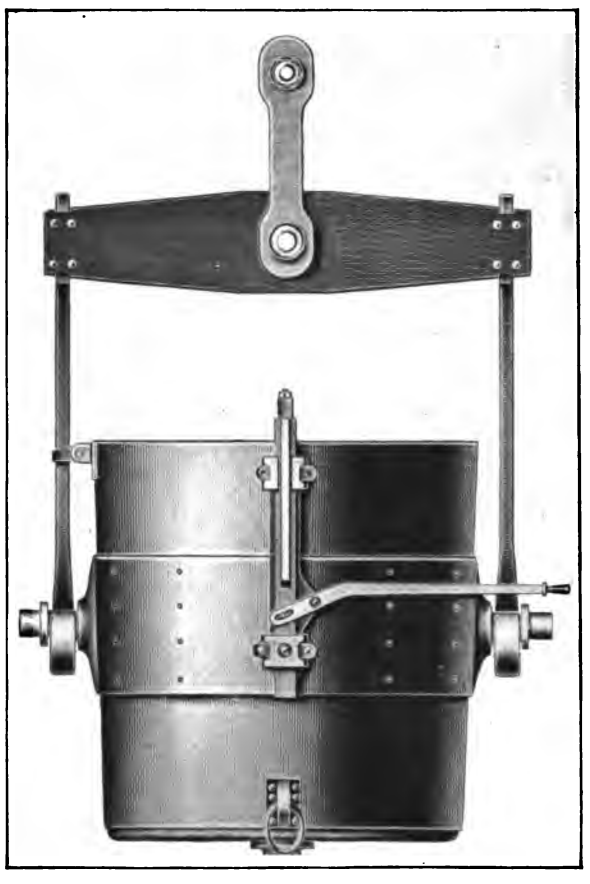


Abbildung 50. Firma Senßenbrenner, Düsseldorf-Obercassel: Gießpfanne für Stahl.

Eine weitere die Produktion sehr verteuernde Schwierigkeit bietet die Notwendigkeit, die Oberfläche der gegossenen Blöcke und der vielleicht zu Zwischendimensionen ausgewalzten Stangen von allen Unebenheiten, die etwa beim Gießen entstanden sind, von kleinen infolge der Einwirkung der Kokillen auf den geschmolzenen Stahl vorhandenen Bläschen, von Oberflächenrissen usw. durch Herausmeißeln der nicht ganz tadellosen Materialteile zu säubern.

Alle diese Umstände wirken zusammen, die Herstellungskosten des Werkzeugstahls wesentlich höher zu gestalten als diejenigen gewöhnlichen Bessemer- und Martinstahls. Durch Einführung der Elektrostahlöfen hat man gehofft, diese Kosten erheblich verringern zu können. Eine sehr weitgehende Verdrängung des alten Tiegelstahlprozesses durch den Elektrostahlprozeß hat indessen bisher bei dieser Spezialfabrikation noch nicht sattgefunden.

In besonders großartigem Maßstabe ist beabsichtigt worden, den elektrischen Ofen zur Veredelung von Stahl zu benutzen, der auf dem Wege eines der früher geschilderten Verfahren in großen Mengen erzeugt wird. Man kann eine Charge von der Bessemer- oder Thomasbirne oder eines Martinofens von der Gießpfanne direkt einem oder mehreren Elektroöfen zuführen und besitzt dann die Möglichkeit, das

Material in diesem Ofen eine längere Zeit bei hoher Temperatur verweilen zu lassen, ohne daß wesentliche chemische Änderungen in der Zusammensetzung eintreten. Es ist zu erwarten, daß durch diese Behandlung eine höhere Gleichförmigkeit des Materials erreicht werden kann, als dies bisher auf dem Wege der älteren Verfahren möglich erschien. Wenn allerdings von diesem Gedanken bisher noch nicht umfängliche Anwendung gemacht worden ist, so liegt dies überwiegend wohl in den nicht unbeträchtlichen Kosten einer derartigen Nachbehandlung flüssigen Stahls. Wenn auch der elektrische Strom in der Gegenwart verhältnismäßig schon recht billig erzeugt werden kann, so ist die durch diese Nachbehandlung zu bewirkende Qualitätserhöhung doch noch nicht so allgemein anerkannt, daß es gelungen wäre, einen entsprechend erhöhten Preis für die auf diesem Wege erzeugten Materialqualitäten zu erhalten.

Eine verhältnismäßig umfängliche Anwendung des elektrischen Ofens für die Zwecke der Eisendarstellung findet indessen schon statt und steht in weiterer Aussicht in denjenigen Ländern, in denen Kohle, die zur Durchführung hüttenmännischer Prozesse geeignet ist, nicht vorkommt, in denen aber Eisenerze und Wasserkräfte in erheblichem Umfange vorhanden sind. Eine sehr bedeutende Anwendung von Elektroöfen findet man in diesem Sinne bereits in Italien, und sie befindet sich in anderen Ländern in der Entwicklung. Man hat sogar vorgeschlagen und den Versuch gemacht, Roheisen direkt aus den Erzen im Elektroofen darzustellen, um dieses dann der Weiterverarbeitung ebenfalls im elektrisch geheizten Ofen zuzuführen.

Ein abschließendes Urteil dürfte hinsichtlich dieses Prozesses indessen zurzeit noch nicht vorliegen.

SCHLUSZWORT. Es ist in den vorstehenden Darlegungen der Versuch gemacht worden, in möglichst kurzen Zügen den Arbeitsgang und die neuere geschichtliche Entwicklung der im 20. Jahrhundert gebräuchlichen Arbeitsmethoden zur Erzeugung von Eisen und Stahl darzustellen.

Es mußte im Hinblick auf das äußerst reichhaltige und mannigfaltige Material bei dieser Zusammenstellung darauf verzichtet werden, die beschriebenen hüttenmännischen Prozesse erschöpfend zu behandeln. Es erschien auch notwendig, die Erörterung in jedem Abschnitt auf die für diesen Teil der hüttenmännischen Arbeitsvorgänge maßgebenden Prozesse zu beschränken.

Die Darstellung macht deshalb auf Vollständigkeit keinen Anspruch. Es kann aber vielleicht aus ihr entnommen werden, daß die Entwicklung der eisenhüttenmännischen Technik im 19. und 20. Jahrhundert zur Folge gehabt hat:

daß die Menge des jährlich in den industriellen Ländern erzeugten Eisens in einem früher niemals vorauszusehenden staunenerregenden Maße gewachsen ist;

daß die Qualität der erzeugten Produkte in der Gegenwart auf einer vorher niemals erreichten Höhe steht;

daß der Preis derselben auch heute noch fast der niedrigste Preis ist, den Eisen und Stahl jemals gehabt haben;

daß aber das hauptsächlichste Charakteristikum der geschilderten Epoche der Übergang vom Kleinbetriebe zur Großfabrikation ist;

daß in dem behandelten Zeitraum das für die Entwicklungsgeschichte der Menschheit bedeutsame Bestreben sich geltend macht, fortlaufend mehr und mehr nur höherwertige Arbeit von Menschenhand ausführen zu lassen;

daß in scharfem Gegensatz zu früheren Zeiten, in denen alle und jede gewerbliche Tätigkeit direkt von der menschlichen Hand ausgeführt werden mußte, an deren

Stelle in unendlich zahlreichen Fällen die Maschinenarbeit getreten ist, deren Einführung überall dort die Produktion vervielfältigt, die Genauigkeit der Ausführung erhöht und die Erzeugung wesentlich verbilligt hat, wo die Durchführung des Arbeitsvorganges sich ein für allemal in fest geregelten Bahnen bewegt;

und daß der Mensch in immer steigendem Maße als Herr der Maschine tätig ist, dessen Intelligenz den durch die Maschine gelieferten gewaltig großen, früher gänzlich unerreichbaren Kräften den Weg vorschreibt, auf dem sie nach seinem Willen als unermüdliche Arbeiter fortlaufend neue Werte in einer Menge schaffen, die die Produktion früherer Zeiten nach Quantität wie Qualität hundertfach übertrifft.

DIE TECHNISCH WICHTIGEN METALLE UND DIE GEWINNUNG IHRER ERZE

VON R. BECK UND R. HOFFMANN*

1. ALLGEMEINES ÜBER DAS VORKOMMEN DER ERZE

Fragt man nach der eigentlichen Urheimat der Metalle auf der Erde, so haben wir in erster Linie den Blick auf die aus dem Schmelzfluß erstarrten Gesteine, auf die Eruptivgesteine, zu lenken. Jedem erfahrenen Prospektor oder Erzsucher ist bewußt oder unbewußt dieser räumliche und genetische Zusammenhang zwischen jenen ehemals feurigflüssigen Massen und den Erzen bekannt. Diese Gesteine sind im noch geschmolzenen Zustand aus tieferen Regionen der Erdkugel emporgestiegen und haben von dort unten her ihren für den Menschen so kostbaren metallischen Gehalt mitgebracht. Schon die hohe Schwere des Erdinneren gegenüber dem viel geringeren spezifischen Gewicht der uns zugänglichen Teile der Erdkruste läßt vermuten, daß in der Tiefe Schwermetalle eine große Verbreitung haben müssen. Beträgt doch die Dichte der ganzen Erdkugel 5,6, die mittlere Dichte der die Kruste bildenden Gesteine nur etwa 2,8.

Beim Erstarren der Eruptivmassen schieden sich gediegene Metalle und andere Erze in manchen Fällen fein eingesprengt zwischen den größtenteils aus Silikaten bestehenden gewöhnlichen Gemengteilen aus, wie z. B. das Platin in Olivingesteinen, oder häuften sich zu größeren Klumpen an, wie die nickelhaltigen Magnetkiese in manchen Gabbros (magmatische Lagerstätten).

Zuweilen aber konzentrierte sich der ehemals gleichmäßiger verteilte Metallgehalt in den letzten noch nicht kristallisierten Resten des Schmelzflusses oder Magmas, der noch bei dem langsamen Erstarrungsvorgang übriggeblieben war, und zwar zusammen mit vielen gasförmigen Körpern. Hier bildeten auch die Metalle zum Teil gasförmige Verbindungen, namentlich solche mit Chlor und Fluor, oder gingen in wässerige Lösung über, wenn die Komponenten für Wasser zugegen waren, wie es bei gewissen Schmelzflüssen, wie beim Granit, zu vermuten ist. Diese gasförmigen und teilweise auch hydrothermalen, das heißt in heißem Wasser gelösten Metallverbindungen vermittelten den Transport der Metalle auch in Erdschichten abseits vom eigentlichen Ursitz derselben. Zunächst preßte der Druck der im Magma sich entwickelnden Gase die metallhaltigen Verbindungen der genannten Art in das Nebengestein des Eruptivkörpers hinein. Ganz besonders günstig zur Aufnahme dieser metallischen Ankömmlinge waren kalkige Nebengesteine. Molekül für Molekül des kohlensauren Kalziums wurde gegen solche von Erzen ausgetauscht. So entstanden die sogenannten kontaktmetamorphen Erzlagerstätten. Die Metamorphose, die Umwandlung am Kontakt, an der Berührungsfläche zwischen dem älteren Gebirge und dem eingedrungenen erstarrenden Eruptivgestein, war zugleich mit der Neubildung auch nichtmetallischer, sehr charakteristischer Mineralien verknüpft, an deren Gegenwart der Kenner kontaktmeta-

* Von R. Hoffmann die Abschnitte aus dem Gebiete der Hüttenkunde.

morphe Erze leicht erkennt, wie z. B. Granat, lichtgrünen Pyroxen, Wollastonit und Spinell. Ein Beispiel sind die granatführenden Kupfererze in Britisch-Kolumbien.

Aber auch Wanderungen in weitere Fernen waren den Metallen ermöglicht, wenn die durch innere Erdwärme erhitzten Quellwasserströme als Thermen das Transportmittel bildeten. Metallverbindungen lösen sich in heißem Wasser leicht, und noch leichter, wenn in der Lösung zugleich Kohlensäure und andere vom Magma abstammende Gase zugegen sind und die Lösung unter hydrostatischem Drucke steht. Die mit Metallen beschwerten thermalen Lösungen füllen Spalten oder die Zwischenräume in porösen Gesteinen aus oder Fugen zwischen zwei Bänken eines geschichteten Gebirges. Sie fangen schließlich an zu erkalten, die Gase entweichen, der Druck läßt nach, und so werden Metallverbindungen ausgeschieden. Reaktionen mit Bestandteilen des Nebengesteins beschleunigen vielleicht den Vorgang. Bituminöse oder kohlige Beimengungen z. B. wirken reduzierend und fällen aus gelösten Sulfaten Sulfide aus, wie sie unter den Erzen so verbreitet sind. Die so entstehenden Erzlagerstätten werden Erzgänge genannt, wenn die Lösungen Spalten oder rissige Pressungszonen im Gebirge zum Sitz erkoren; vererzte Gesteinsbänke oder kurz Erzlager und Erzlinsen, wenn die Imprägnation mit Metallverbindungen in schichtigen Gesteinen stattfand; Erzstöcke, wenn die thermalen Lösungen unregelmäßige Kammern innerhalb von Kalkstein oder Dolomit mit ihren metallischen Absätzen angefüllt haben.

Alle diese Erzkonzentrationen vollzogen sich in der Hauptsache immerhin noch in ziemlicher Tiefe. Erst wenn das Gebirge in seinen oberen Teilen durch die abwaschende Tätigkeit der Gewässer, durch das Windgebläse und den Hobel der Gletscher abgetragen worden ist, kommen diese Erzansammlungen an die Erdoberfläche, so daß sie das lüsterne Auge des Menschen erspähen kann. Nicht lange behalten sie hier ihre ehemalige Beschaffenheit. Der Sauerstoff der Luft oxydiert, durch deren Kohlensäuregehalt bilden sich Karbonate, durch Sickerwässer Hydrate, durch die überall im Grundwasser verbreiteten Chloride Chlorverbindungen der Metalle. Die meisten dieser Neubildungen zeichnen sich durch grelle, auffällige Färbung aus. Rotes Eisenoxyd ist fast immer in großer Menge darunter. Daher auch die Bezeichnung Eiserner Hut für diese an der Erdoberfläche freigelegten Teile der Erzlagerstätten, die auch Hutbildungen im allgemeinen heißen. Häufig sind die Metalle im Hut stärker konzentriert als in der noch unveränderten Lagerstätte größerer Tiefe. Enttäuschungen folgen dann zuweilen auf den glücklichen ersten Fund, wenn man ihm tiefer nachgeht. Die grellgefärbten Neubildungen des Hutes lenken anderseits auch den Blick leichter auf sich als die unscheinbaren Erze der Tiefe, sie sind wahre Leiterze, wie z. B. die grünen Malachite und blauen Kupferlasuren für kupferhaltige unscheinbare Eisenkiese.

Der Hut wird immer weiter bloßgelegt durch die Verwitterung und Abtragung und zugleich aber durch oberflächlich fließende Gewässer ausgelaugt. Diese können ihren aus dem Hut entnommenen Metallinhalt wieder in Einsenkungen und Mulden absetzen, es entstehen sekundäre Erzlager oder Flöze, wie z. B. die Raseneisensteine. Aber nicht nur chemisch gelöste Metallverbindungen transportiert das fließende Wasser, auch mechanisch durch Spaltenfrost und Sonnenglut zertrümmerte, durch mancherlei Zersetzungen zerborstene Fragmente von Erz nimmt jenes auf, flößt es in seinem Bette fort und läßt es in oft abgeriebenen und wohlgerundeten Teilchen zugleich mit Schlamm, Sand, Geröll und Geschieben in den Tälern liegen. Das sind die sogenannten Seifen, aus denen der Mensch die metallischen Teile, wie z. B. das Gold, herauswäscht, die leichteste Art der Metallgewinnung, schon dem prähistorischen Menschen ganz geläufig.

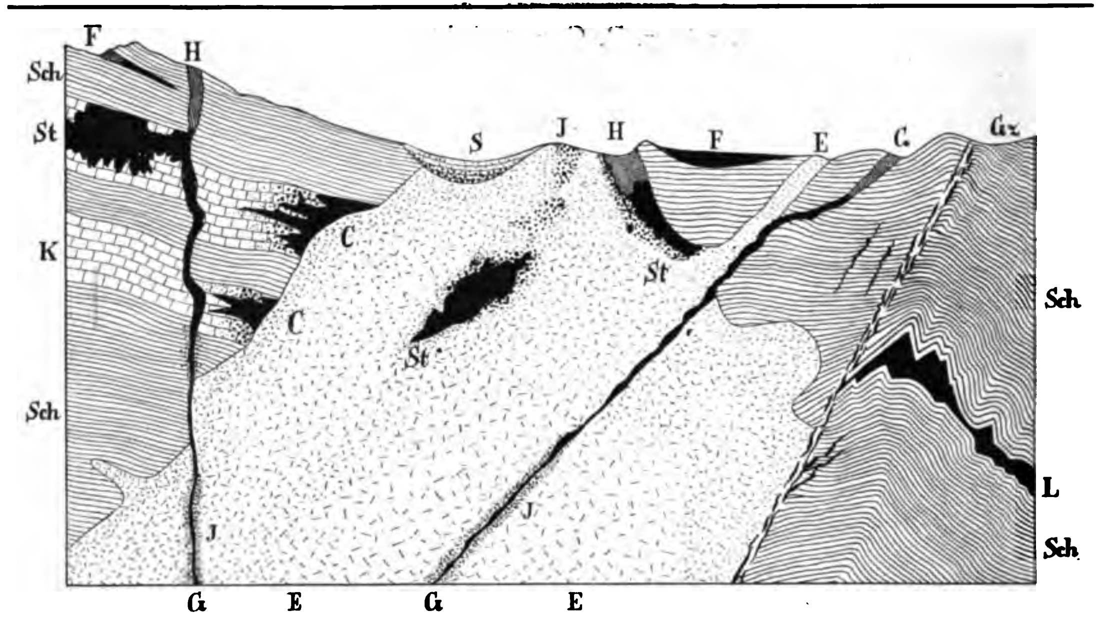


Abbildung 1. Schematisches Bild eines senkrechten Durchschnitts durch ein erzreiches Gebirge. Sch Schiefer, K Kalksteine, E Eruptivgestein, St Erzstock innerhalb von E und von K, J Erz, eingesprengt innerhalb von E und K, C kontakt-metamorphe Erzstöcke und Imprägnationen, G Erzgänge, Gz gangähnliche Zerrüttungszone, L Erzlager thermaler Entstehung, H Hutbildungen an St und G, F Erzflöze, S Erzseife. Die Dicke der Gänge stark übertrieben.

Ein Blick auf die vorstehende schematische Skizze, die einen senkrechten Schnitt durch ein erzreiches Gebirge darstellt, möge dies allgemeine Bild von den Lagerstätten der Erze erläutern.

2. DAS VORKOMMEN DES KUPFERS UND DER KUPFERBERGBAU

Im toskanischen Erzgebirge, dem Lande, wo schon die alten Etrusker, jene Meister der Metallurgie im hohen Altertum, Kupfer und etwas Zinn gewannen, finden wir lehrreiche Beispiele magmatischer Kupfererzlagerstätten. Ausgezeichnet durch eine ruhmreiche Geschichte und früher ganz gewaltige Produktion an dem roten Metall ist namentlich Monte Catini, das unweit Volterra, dem altetrurischen Felathri, gelegen ist. Wie ein stolzes Kastell erscheinen die Gebäude der alten Grube auf einer Hügelgruppe, die aus der öden Landschaft des tertiären Mergelgebiets emporragt. Die höheren Teile der Hügel bestehen aus Olivindiabasen, die tieferen aus Olivingabbro, der zu Serpentin zersetzt ist. Die Zufuhrkanäle dieser magmatischen Gesteine, gleichsam den Stiel dieser Eruptivmassen, hat man nicht nachweisen können, obwohl der Bergmann auf der Suche nach neuen Erzkörpern die Hügel nach allen möglichen Richtungen hin durchfahren hat. Wurzellos ruhen die Olivingesteine allseitig auf eozänen Mergeln und Kalksteinen auf, so daß man an eine gewaltige Überschiebung glaubt, nach Art jener berühmten Überschiebungen in den schweizerischen Alpen. Die Erze aber waren ganz ausschließlich an die unteren Teile der Eruptivdecke gebunden. Sobald man die geschichteten Gesteine der Unterlage erreichte, war jede Hoffnung auf weitere Anbrüche zunichte gemacht. Die Serpentine von Monte Catini haben kompakte Kupferkiesklumpen von erstaunlichen Dimensionen, bis zu 10 cbm Rauminhalt, umschlossen. Randlich war der Kupferkies solcher Massen häufig von einer Hülle von Buntkupferkies und Kupferglanz umgeben, schwefelärmeren Verbindungen des

Kupfers von infolgedessen noch höherem Metallgehalt. Während Kupferkies ($CuFeS^2$) 34,5% Kupfer enthält, betragen die Ziffern bei Buntkupferkies oder Bornit (Cu^3FeS^3) im reinsten Zustande 55,5%, beim Kupferglanz oder Chalkosin (Cu^2S) sogar 79,8%. In der Praxis des Bergbaues kommen diese Werte aber nur in beschränktem Maße vor, da der Gehalt solcher Erze fast immer durch Beimengung von nicht metallhaltigen Mineralien, sogenannten Gangarten, stark herabgedrückt wird. Auch hat man in den Gruben von Monte Catini neben den größeren Klumpen die nur fein im Serpentin eingesprengten und darum recht armen Erze nicht verschmäht, die natürlich erst durch Aufbereitung, durch Wegschlämmen der leichteren, nicht metallischen Teile des Pulvers, mittels Wassers angereichert werden mußten, ehe sie den Schmelzhütten zugeführt werden konnten. Als der Stern von Monte Catini am höchsten stand, im Jahre 1860, erreichte die Ausbeute dieses Bergbaues 3000 t hochprozentiges Erz im Jahre.

An zahlreichen anderen Stellen enthalten die eruptiven Olivingesteine und Serpentine Toskanas und Liguriens ähnliche Lagerstätten.

Auch die Kupfererze der Gegend von O'okiep in Britisch-Klein-Namaqualand gehören zu den magmatischen Ausscheidungen. Schon 1685 begannen die Holländer von Kapstadt aus an eine Hebung dieser Schätze zu denken, und um die letzte Jahrhundertwende lieferten die dortigen Gruben etwa 30000 t von ungefähr 20prozentigem Erz pro Jahr. Die Erzkörper sind in Noriten, gabbroähnlichen Eruptivgesteinen, eingeschlossen. Während in Oberitalien der Mensch schon in uralten Zeiten die Hand nach den Kupfererzen ausgestreckt hatte, waren die Hottentotten achtlos an diesen Reichtümern vorübergegangen.

Ein treffliches Beispiel einer kontaktmetamorphen Kupferlagerstätte finden wir wiederum im alten Etruskerland, in der Campiglia Marittima, einem Gebiet innerhalb der Maremmen. Hier wird der Kalkstein der Liasformation von mächtigen Gängen eines quarzreichen Eruptivgesteins durchsetzt, an dessen Grenzflächen das kalkige Gestein Kupferkies und andere Erze führt. Das Kupfererz kommt zusammen mit einem Mangankalkaugit vor, der radialstrahlig aufgebaute Kugeln und Nieren bildet. In der Mediceerzeit und dann wieder zu Anfang des 19. Jahrhunderts war der dortige uralte Bergbau zu neuem Leben erwacht. Zur Etruskerzeit wurden in diesem Gebirge, in den sogenannten Cento Camerelle, nahe dem heutigen Monte Valerio, auch Zinnerze gewonnen, so daß den Bewohnern der Stadt Populonia beide Metalle zur Bereitung von Bronze zur Verfügung standen.

Gewaltige kontaktmetamorphe Kupferlagerstätten hat seit Jahren die deutsche Firma W. Siemens bei Kedabeg im Kaukasus in Ausbeute genommen. Bekannter sind derartige Vorkommen im Uralgebirge, namentlich die bei Médnorudjansk. Diese haben in ihrem sehr mächtigen Hut vorzüglich Malachit und Kupferlasur geliefert. Hier spielt Malachit zugleich die Rolle eines Edelsteines oder ornamentalen Steines. Die wundervollen Malachitsäulen in der Isaakskirche zu St. Petersburg, die vielen prächtigen Malachitvasen und anderen Kunstgegenstände in den Zarenschlössern sind aus uralischem basischem Kupferkarbonat gemacht. Ein im Jahre 1836 zu Médnorudjansk gefundener Malachitblock wog ungefähr 328 t.

Auch große moderne Betriebe Nordamerikas sind teilweise auf kontaktmetamorphen Kupfererzlagerstätten basiert, so z. B. bei White Horse im südlichen Yukongebiet Kanadas, wo die Erze längs der Grenze von Granit im Kalkstein sitzen, bei Greenwood und Phoenix in Britisch Kolumbien, wo ein Dioritkontakt goldhaltige Kupferkiese führt. Am großartigsten wohl sind solche Lagerstätten bei Cananea im nörd-

lichen Mexiko entwickelt. Allein die Greene Cons. Copper Comp. von Cananea erzeugte vor kurzem täglich über 3000 t Erz mit einem Kupfergehalt von 3,5—4 %.

Geläufiger als die bis jetzt besprochenen Kupfererztypen ist wohl den meisten Lesern der Begriff der Kupfererzgänge. Der größte Teil der Weltproduktion rührt übrigens auch von solchen her. Europa ist verhältnismäßig arm an reinen Kupfererzgängen, häufiger begleitet etwas Kupfererz das silberhaltige Bleierz in Gangspalten. Für Deutschland mögen die Kupfererzgänge bei Kupferberg in Schlesien, am Roten Berge bei Kamsdorf, unweit von Saalfeld, und bei Rheinbreitenbach am Rhein erwähnt sein, in den österreichischen Alpen die von Mitterberg, südlich von Salzburg, und von Kitzbühl in Tirol, in Oberitalien die bei Massa und Boccheggiano in Toskana. Als man den reichen Gang am letztgenannten Orte nach der Tiefe hin verfolgte, stieß man auf eine heiße Quelle mit saurem, die Pumpen angreifendem Wasser, das u. a. Borsäure enthielt, eins der vielen Beispiele für noch heute auf Erzgängen emporsteigende Thermen. Hier knüpft die Thermaltheorie an, welche sich den Absatz auch der meisten Kupfererze wie vieler anderer Erze auf Gangspalten aus thermalen Lösungen vorstellt. Ein häufiger Nachweis von allerdings winzigen Metallgehalten in den heutigen Thermen spricht ebenfalls für diese Hypothese, auch die merkwürdige Umwandlung des Nebengesteins der Gänge, die sich ganz analog am Wandgestein noch aktiver Thermalspalten findet, gehört zu diesen Beweismitteln.

Die erstaunlichsten Ansammlungen von Kupfererz auf Gängen kennt man in Australien und Nordamerika. Die Glanzzeiten von Burra-Burra, Wallaroo und Moonta in Südaustralien, wovon allein Burra-Burra in dreißig Jahren gegen 52000 t Kupfer erzeugte, sind vorüber, während die Gänge von Butte und Anaconda im südwestlichen Montana noch heute zu den ersten Produzenten der Erde gehören. Allein die berühmte Anaconda-Grube erzeugte 1876—1897 etwa 470000 t Kupfer. Bis 1905 wurde die Gesamtproduktion des Gebiets auf 31 Millionen t Erz mit 5 % Kupfer im Durchschnitt geschätzt. Im Jahre 1900 belief sich der Wert der Jahresproduktion von Kupfer von Butte auf 40882492 Dollar. Welch gewaltiger Schatz, den hier die Natur auf verhältnismäßig kleinem Raum niederlegte, welch gewaltige Arbeitsleistung aber auch des Menschen, der diesen Schatz ausräumte!

Die Gegend liegt mitten im Felsengebirge. Ringsum herrschen Eruptivgesteine tertiären Alters. Das Hauptnebengestein der Gänge ist ein dem Syenit ähnliches Gestein, Monzonit, mit Übergängen nach Granit. Der Anaconda-Gang, wie andere, wurde zunächst auf Silber abgebaut, das sich im Hut konzentriert hatte. Er wie auch der Syndicate-Gang besitzt die gewaltige durchschnittliche Mächtigkeit von 15 m, schwillt aber an manchen Stellen bis zu 30 m an. Nachdem man von der Oberfläche aus bis zu 60—120 m Tiefe kupferarme, nur etwa 1 % Kupfer haltende, aber silberreiche Erze herausgeholt hatte, trat man in eine etwa 60 m anhaltende, viel kupferreichere Zone mit viel Buntkupferkies, Kupferglanz und Covellin (Kupferindig, CuS) ein. Unter diesem Gangabschnitt endlich folgte eine sehr silberarme Zone mit Kupferkies, Pyrit (Eisenkies, FeS^2) und Enargit (AsS^4Cu), begleitet von Quarz, worin man noch heute arbeitet. Das Kupfererz von Butte enthält im Mittel 55 % Kieselsäure und 16 % Eisen. Ungefähr 15 % der Förderung ist erstklassiges Erz mit durchschnittlich 12 % Kupfer, die übrigen 85 % halten 4,8 % Kupfer und werden zu einem 18 %-Konzentrat mit 15—20 % SiO^2 aufbereitet. Wir führen einige Grubengebäude von Butte im Bilde vor.

Die Kupfererzgruben von Butte, deren mehrere bereits gegen 800 m Tiefe erreichten, sind moderne Musterbergwerke, die zugehörigen Schmelzhütten die größten

der ganzen Welt. Da Butte selbst in sehr wasserarmer Gegend liegt, werden die Erze zur völligen Aufbereitung nach dem Tale von Anaconda transportiert oder an den Missourifluß bei Great Falls.



Abbildung 2. Die Original-Mine (rechts) und die Gagnon-Mine (links) in der City von Butte.

Nicht ausschließlich auf eigentlichen Gangspalten treffen wir das Kupfer in dem zweiten berühmten Kupfergebiet Nordamerikas, dem im Staate Michigan am Oberen See. Die Verhältnisse liegen hier auch sonst ganz anders. Zunächst findet sich das Kupfer dort nicht in Verbindung mit Schwefel oder Arsen und Schwefel, wie zu Butte, sondern frei als gediegen Kupfer. Seine Begleiter sind vorwiegend Kalkspat und Zeolithe, wie Laumontit, Prehnit und Apophyllit, neben Quarz, Flußspat, Epidot und Chlorit. Zuweilen tritt zum gediegen Kupfer gediegen Silber hinzu. Mit dieser Mineralgesellschaft sind Spalten in einem vulkanischen Gestein, Melaphyrmandelstein, ausgefüllt. Aus solchen Spalten stammten vor allem auch die kolossalen Klumpen von Kupfer, die zur Entdeckungszeit der dortigen Lagerstätten noch lose auf der Erdoberfläche lagen, als Überbleibsel aus völlig von der Verwitterung zerstörten Gangabschnitten. Schon die indianischen Ureinwohner der prähistorischen Zeit haben mit ihren Steinhämmern sich von diesen zackigen Klumpen vorstehende Ecken abgeschlagen. Man fand solche Massen bis zu einem Gewicht von mehreren Tausend Kilogramm. Außerdem aber findet sich das gediegene Metall als Ausfüllung der ehemaligen Blasenräume im Melaphyrmandelstein und im Bindemittel von Konglomeraten, die aus Geröllen von Quarzporphyr und Melaphyr bestehen. Gerade die letzteren beiden Arten von Lagerstätten beutet der moderne Großbetrieb aus, der zahlreiche Gruben besonders auf der in den Oberen See vorspringenden Halbinsel Keewenaw bearbeitet. Die dortigen Schächte sind bereits zu erstaunlichen Tiefen vorgedrungen, der Red-Jacket-Schacht z. B. der berühmten Grube Calumet und Hekla bis über 1500 m Tiefe. Diese „Lake Mines" nehmen ungefähr dieselbe hohe Stellung in der Weltproduktion ein wie der Butte-Distrikt. Im Jahre 1907 betrug ihre Gesamtausbeute 106200 t metallisches Kupfer. Sehr schwierig ist die Erklärung, warum das Kupfer hier als gediegen Metall abgesetzt worden ist. Keine der bisherigen Theorien vermochte diese Frage befriedigend zu lösen.



Abbildung 3. Die Neversweat-Mine der Anaconda-Company bei Butte.

Trotz ihrer bedeutenden Tiefe haben die dortigen Schächte auch in

den untersten Strecken verhältnismäßig noch niedrige Temperaturen angetroffen. Erst auf 123 m erfolgt eine Temperaturzunahme von 1° C, während die geothermische Tiefenstufe sonst etwa 30 m ist. Man schreibt dies dem kühlenden Einfluß des eisigen Tiefenwassers des nahen Oberen Sees zu. So wird die innere Erdwärme für das kühne Vordringen des Bergmannes auch noch weiter hinab hier vorläufig kein Hindernis sein. Die neueren Schächte sind senkrecht abgeteuft und haben alle 30,1 m Abbausohlen, von denen aus man mittels Firstenbau vorgeht. Berühmt sind die gewaltigen Fördermaschinenanlagen dieser Werke. So verfügen die drei Maschinen der Grube Calumet und Hecla zusammen über eine Leistung von ungefähr 7000 P.S. Von den geförderten Massen werden die größeren Stücke auf den Konglomeratgruben zunächst durch Dampfhämmer zerschlagen und durch Steinbrecher mit verschiedener Maulweite zerkleinert. Das Material wird alsdann nach den Aufbereitungsanlagen am Torch- und Portage-See gefahren. Hier wird es zunächst Naßpochwerken übergeben, hierauf der Reihe nach hydraulischen Separatoren (Spitzkästen), Setzmaschinen und Rundherden.

Von der Weltproduktion an Kupfer, die 1908 738900 metrische Tonnen betrug bei einem damaligen Verbrauch von 701700 t, entfielen nach der Statistik der Frankfurter Metallgesellschaft auf Amerika 525500 t, Europa 142900 t, Asien (Japan) 36000 t, Australien 34500 t. Wir sehen die gewaltige Vorherrschaft Amerikas, und zwar wesentlich der Vereinigten Staaten mit 431900 t. Das schon skizzierte Gebiet von Butte in Montana mit 115800 t und die großen Werke am Oberen See in Michigan mit 100500 t wurden im genannten Jahre noch weit übertroffen von den Betrieben im Staate Arizona mit 131000 t.

Die Kupfererze von Arizona, so besonders diejenigen im Bisbee-Distrikt in der Südostecke des Staates nahe der mexikanischen Grenze, gehören größtenteils zur Gruppe der unregelmäßigen Erzstöcke innerhalb von kalkigen Gesteinen. Bei Bisbee sind karbonische Kalksteine das erzführende Gestein. Sie sind zu einem Trog zusammengeschoben, der am Sacramento Hill von Granitporphyr durchbrochen wird. Die im allgemeinen plattenförmigen Stöcke liegen nicht unmittelbar am Eruptivgestein parallel der bankigen Schichtung des Kalksteins und bestehen in ihrem primären



Abbildung 4. Tsumeb. (Nach J. Kuntz.)

Zustande wesentlich aus einem Gemenge von Pyrit und Kupferkies. Im Hut dagegen hatte man nur Malachit, Kupferlasur, Rotkupfererz (Kuprit, Cu_2O) und gediegen Kupfer, zwischen dem Hut und den Erzen primärer Zusammensetzung auch große Massen von Kupferglanz. Daneben kommen dort auch kontaktmetamorphe Kupfererze unmittelbar am Granitporphyr vor, die Granat und Diopsid enthalten. Unter den Bergwerken dieses Gebiets dominieren Copper Queen und Calumet and Arizona, die bis 1903 bereits an 182000 t Kupfer geliefert haben.

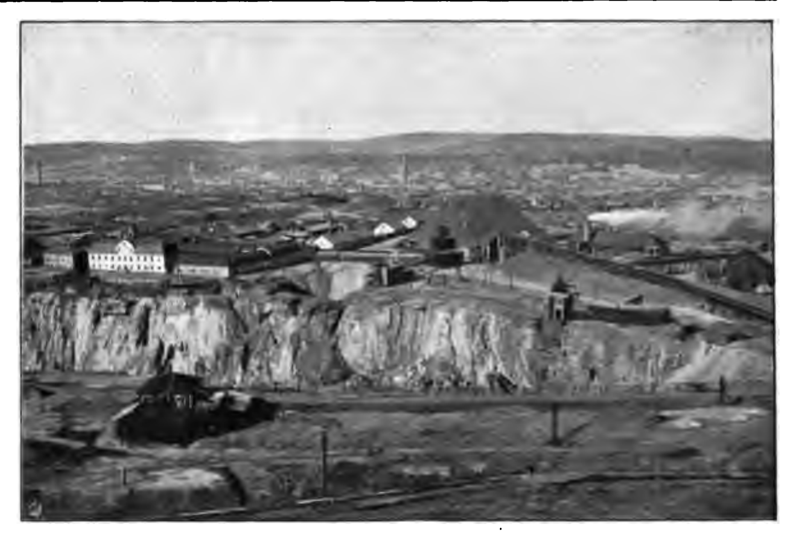


Abbildung 5. Ansicht der Kupferbergwerke von Falun mit der großen Pinge.

In diese Kategorie von Lagerstätten gehört auch eine aus den deutschen Kolonien, diejenige von Tsumeb im Otavi-Bezirk von Deutsch-Südwestafrika, die allerdings neben dem Kupfer auch viel Blei liefert. Die Erzstöcke sitzen hier in einem devonischen Dolomit nahe von dessen Grenze mit einem Sandstein. Bis zum 31. März 1908 wurden von Tsumeb rund 29000 t Kupferbleierze gefördert, die zum Teil nach den sächsischen Hütten geliefert wurden. Seit 1907 ist an Ort und Stelle eine Hütte in Betrieb genommen worden, die Kupferstein und Werkblei zum Export erzeugt. Unser Bild (Abbildung 4) zeigt uns die Grubenanlagen dieses Platzes nach einer Aufnahme von J. Kuntz.

Endlich wenden wir uns noch zu einigen Beispielen von Kupfererzlagerstätten in der Form von Linsen, Lagern oder Flözen, die parallel zwischen geschichteten Gesteinen eingeschaltet sind.

Da haben wir zunächst Kupfererzlinsen innerhalb kristalliner Schiefer, wie in Norwegen und Schweden. Historisch am bekanntesten sind die aus Kupferkies und Pyrit bestehenden Erze der poesieumwobenen Gruben von Falun im mittleren Schweden, im südlichen Teil der Dalarne genannten Landschaft. Unser Bild (Abbildung 5) gibt diese berühmte Grube wieder. Bis 1220 zurück gehen die Nachrichten über dieses auch Stora Kopparberg genannte Bergwerk, das im ganzen über 500000 t Kupfer, daneben 15 t Silber und 1 t Gold erzeugt hat. Der damals reiche Bergsegen von Falun ermöglichte Gustav Adolf seine erfolgreichen Kriegszüge. Bekannt ist die Geschichte des 1670 im Mårdskins-Schacht verunglückten Bergmannes, der fünfzig Jahre später in wohlerhaltener Gestalt wieder aufgefunden werden konnte, weil vitriolhaltige Grubenwässer seinen Leichnam vor Verwesung bewahrten. Ein malerischer Einbruchskessel von sehr beträchtlichen Ausmaßen, eine sogenannte Pinge, bildete sich 1687 durch den Zusammenbruch ausgedehnter Weitungsbaue. In neuerer Zeit ist man von senkrechten Schächten neben dieser Pinge aus mittels Querstrecken unter das chaotische Haufwerk von Erz und Nebengestein am Grunde dieses Kessels vorgedrungen und hat die wertvollen Teile desselben durch Bruchbau erschlossen. Man geht zu diesem

Zwecke mittels Getriebezimmerung in die losen Massen hinein und gewinnt von den von oben hereinrollenden Massen, was die Verarbeitung lohnt. Von einem solchen Bruchort aus kann oft jahrelang gefördert werden, bis es sich wieder notwendig macht, durch Suchörter in anderer Richtung mehr geeignetes Material aufzusuchen.

In neuerer Zeit ist Falun von nur geringer Bedeutung gegenüber den ansehnlichen norwegischen Kupfergruben ähnlicher Art. So erzeugten im Jahre 1907 Röros 16678 t Schmelzerz mit 4,32 % Kupfer im Durchschnitt und 13837 t Exportkies mit 2,61 %, Sulitelma hoch oben im Norden, nördlich vom Polarkreis, 10969 t Schmelzerz mit 6,18 % und 101 819 t Exportkies zur Schwefelsäurefabrikation.

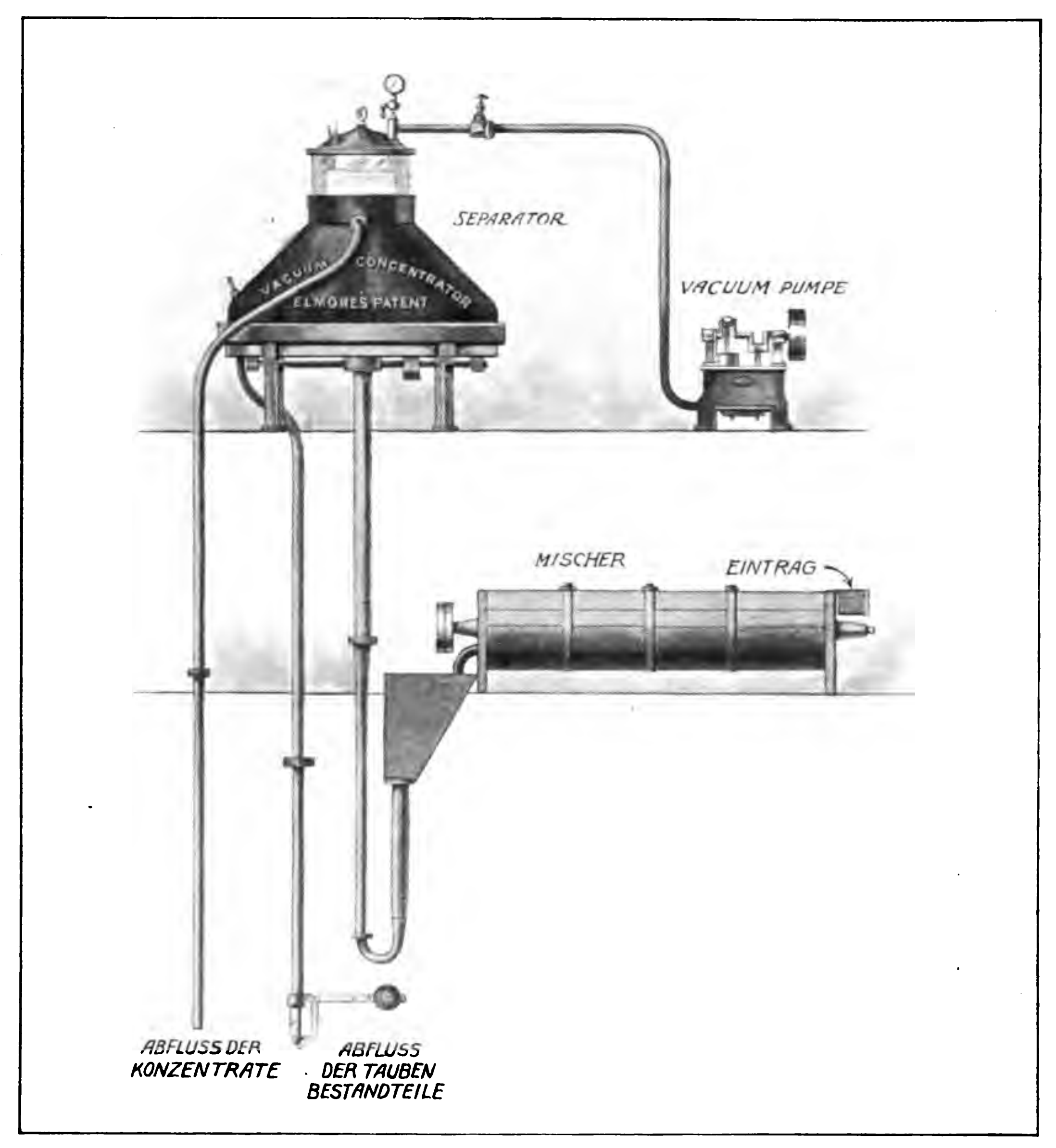


Abbildung 6. Anordnung einer Aufbereitung nach dem Elmoreverfahren. (Nach H Holmsen und H. N. Rees.)



Abbildung 7. Die Erzaufbereitung von Sulitelma. (Nach H. Holmsen und H. N. Rees.)

Sulitelma verdient in vieler Beziehung unser Interesse. Hier wurde zum erstenmal das weiter unten besprochene „Pyritische Schmelzverfahren" nach Knudsen angewandt, hier zuerst eine größere Aufbereitung nach dem System Elmore eingerichtet. Die im Glimmerschiefer eingeschalteten Erzlager liefern ein Erz, das man durch Handscheidung in vier Sorten teilt: Schwefelerz mit 3% Cu und 44% S, das sofort an die Schwefelsäurefabriken versandt wird, Kupfererz mit 6% Cu und 32% S, das man an Ort und Stelle verschmilzt, solches mit 1,8% Cu und 22% S, das man dort naß mechanisch aufbereitet, und Abfall. Die bei der nassen Aufbereitung bisher unvermeidlichen starken Verluste sind durch das Elmoreverfahren abgestellt. Mittelst dieses verarbeitet man die von den Setzmaschinen und Herden kommenden Rückstände jetzt von neuem und vermag aus diesem bisher wertlosen Material jährlich 800 bis 1000 t metallisches Kupfer zugute zu machen. Das Elmoreverfahren beruht darauf, daß Öl mit einem Gemisch von fein zerkleinertem Erz in Wasser zu einer Trübe verrührt wird und an den metallischen Erzteilchen, nicht aber an den tauben Gesteinskörnchen haften bleibt. Dieses Verhalten wird durch Zusatz von irgendeiner Säure und weiterhin dadurch erhöht, daß die im Wasser fein verteilten Luft- und Gasbläschen freigemacht werden, indem man den auf der Trübe lastenden Luftdruck mittelst einer Vakuumpumpe verringert. Die Gasbläschen hängen sich nun an die mit Öl überzogenen Erzteilchen und treiben sie in die Höhe bis auf die Oberfläche der schlammigen Flüssigkeit, von wo sie mittelst einer sinnreichen Einrichtung abschwimmen können. Wie unsere Abbildung zeigt, besteht eine solche Elmoreanlage wesentlich aus drei Teilen: dem Mischer, dem glockenförmigen Separator und der Luftpumpe. Im Mischer, dem unausgesetzt die Trübe zufließt, wird sie von automatischen Rührarmen langsam aber kräftig mit Öl und wenig Säure verrührt und steigt dann hinauf in den Separator, worin die Luftpumpe ein Vakuum erzeugt. Auf dem Boden dieses Separators läuft langsam ein Rührwerk um, das die niedersinkenden tauben Gesteinskörnchen von der Mitte des kegelförmigen Raumes nach der Peripherie

hin bewegt und schließlich dem Abgangsrohr zuführt. Die emporgestiegenen, von Öl umhüllten und durch Gasbläschen eskortierten metallischen Erzteilchen dagegen fließen über den Rand des ringförmigen Raumes im oberen Teile des Separators ab. Dieser Abfluß kann leicht kontrolliert werden, da der ringförmige Raum von einem dicken Glaszylinder umgeben ist oder wenigstens mehrere Beobachtungsfenster enthält. Beide Austragrohre, das für die Abgänge sowohl wie das für die Konzentrate, münden in Spitzkästen und sind etwas länger als das aufsteigende Führungsrohr, so daß sie saugend wirken müssen.

Mittelst dieses Verfahrens kann man viele Erze anreichern, die man bis jetzt wegen ihrer besonderen Eigenschaften überhaupt nicht mit Gewinn verarbeiten konnte, so z. B. Kupferkies, der mit Magnetit und Hornblende verwachsen ist, Bleiglanz, der in Granatgestein eingesprengt ist. Andere, wie Zinnobererze und goldhaltige Eisenkiese, lassen sich billiger konzentrieren als durch andere Aufbereitungsmethoden.

Über die Entstehung der Kieskörper von Sulitelma gehen die Ansichten noch auseinander. Dies gilt auch für die zahlreichen linsenförmigen, aus Pyrit mit mehr oder weniger Kupferkies gemengten Erzkörper im Schiefergebiet von Huelva in Südspanien und im angrenzenden Portugal. Hier kommen Kieslinsen vor, die an der dicksten Stelle bis 150 m im Durchmesser haben und im Horizontalschnitt bis 70000 qm umfassen. Sie sind steil zwischen die Schiefer eingeschaltet, oft in der Nähe von Quarzporphyrstöcken. Bereits die Phönizier trieben hier Bergbau in den kupferreichen Hutzonen dieser Lagerstätten, deren Kupfergehalt unterhalb des Grundwasserspiegels meist nur zwischen 2—3% beträgt. Der geringe Gehalt wird durch die großen Massen der Erze wettgemacht. Das iberische Kiesrevier hat daher in den achtziger Jahren zwischen 1/5 bis 1/4 der Kupferproduktion der ganzen Welt liefern können. 1906 erzeugte es nur noch etwa 50000 t.

Eine glänzende Zukunft für Kupfer verspricht Katanga im südöstlichen Teil des Kongostaates, dessen ebenfalls schichtenförmige Lagerstätten gewöhnlich neben 12 bis 15% Kupfer auch 3 g Gold und 72 g Silber pro Tonne enthalten. Im Juni 1905 wurde der damals nachgewiesene Vorrat von Kupfer dort bereits auf 2000000 t geschätzt. Die Fundstätten haben sich inzwischen weit vermehrt. Die bedeutendsten liegen bei Kambove am Livingstone-Creek und Elisabethville. Schon rückt von Portugiesisch Angola her die Benguella-Bahn und aus Rhodesien die Linie Salisbury-Brokenhill schnell in das Gebiet vor, wo nach Fertigstellung dieser Transportlinien eine ungeheure Produktion einsetzen wird, zumal da auch nahe Kohlenlager die Bergindustrie unterstützen werden.

Gegenüber diesem Lande der Zukunft vermag auf eine lange ruhmreiche Vergangenheit unser deutscher Kupferschieferbergbau zurückzublicken, der im ganzen gegen 1/2 Million t Kupfer geliefert hat und bereits um 1199 oder 1200 bei dem späteren Hettstädt seinen Anfang nahm. Im Jahre 1905 wurden 696709 t Erz gefördert, dessen durchschnittlicher Gehalt an Kupfer 2,8% nebst 161 g Silber p. t. betragen hat. Wir haben hier eine ganz typische schichtige Kupfererzlagerstätte von zwar geringer Mächtigkeit und relativ niedrigem Gehalt, aber von sehr bedeutender horizontaler Ausbreitung vor uns, die der Bergindustrie eine große Stetigkeit gewähren konnte. Das altberühmte Hauptrevier ist das sogenannte Mansfelder Becken mit Eisleben als Mittelpunkt. Aber auch am Kyffhäuser, bei Saalfeld, bei Ilmenau, bei Frankenberg und Riechelsdorf in Kurhessen und bei Stadtberge in Westfalen sind Kupferschiefer oder ähnliche kupferhaltige Schichtgesteine verarbeitet worden. Das Mansfelder 0,5 bis 0,6 m mächtige Kupferschieferflöz bildet die unterste Schicht der aus Kalksteinen

und Dolomiten, zu oberst auch aus Letten und den Gesteinen der Salzgruppe aufgebauten, im allgemeinen fast horizontal gelagerten Zechsteinformation. Der Kupferschiefer ist ein bituminöser schwärzlicher Mergelschiefer, reich an vererzten Abdrücken von Palaeoniscus Freieslebeni, Platysomus striatus und anderen Ganoidfischen, selten mit Zweigen von Voltzia Liebeana, einer tannenartigen Konifere, und anderen Ästen. Die Erze, und zwar vorherrschend Kupferkies neben Buntkupferkies, Kupferglanz, Eisenkies, Bleiglanz, Silber- und Kobalterze, sind höchst fein in winzigen Stäubchen eingesprengt, ab und zu auch in Knötchen oder Hiecken. Gewöhnlich liefern nur die unteren 8—12, selten 8—17 cm mächtigen Lagen des Flözes schmelzwürdiges Erz, während die übrigen zu geringhaltig sind, als daß die Bearbeitung lohnte. Viele Verwerfungen wie auch Sättel und Mulden stören die Lagerung und sind auch von Einfluß, und zwar im allgemeinen von günstigem Einfluß auf den Kupfergehalt des Flözes, der nach der Ansicht vieler Geologen durch seitliche Infiltration thermaler Lösungen von Spalten aus seinen Platz einnahm. Die Spalten selbst, dort Rücken genannt, sind entweder erzfrei oder enthalten Kupfer-, Nickel- und Kobalterze.



Abbildung 8. Separatorraum in der Aufbereitungsanstalt von Sulitelma. (Nach H. Holmsen und H. N. Rees.)

Die Abbaumethode bei dieser flach einfallenden und wenig mächtigen Lagerstätte mußte sich eigenartig entwickeln. Man wendet sogenannten Strebbau an, der hier durch die Dachklotz genannte Schicht im Dach des gewonnenen Schiefers, die den Grubenräumen Festigkeit verleiht, unterstützt wird. Die Lagerstätte wird hierbei streifenweise, und zwar in 8—12 m breiten, im Streichen des Schiefers liegenden Streifen, den Streben, in Angriff genommen. Die durch den Aushieb entstehenden sehr niedrigen leeren Räume werden bis auf die freibleibenden diagonalen Förderstrecken mit den Bergen, den wertlosen Gesteinsmassen aus dem Hangenden, die beim Abbau der bauwürdigen Schicht mit fallen, sogleich wieder versetzt. Die Häuer liegen vor Ort auf der linken Seite. Die Schulterhöhe des Mannes ist daher das Minimum der Höhe des Arbeitsraumes, etwa 0,5 m. Der Häuer ruht auf einem Achsel- und auf einem Beinbrett. Das letztgenannte ist festgeschnallt. Die früher mit der Keilhaue, jetzt lediglich durch Schießarbeit mittelst Bohrmaschinen gewonnenen Erze werden zunächst in den nur etwa 50 cm hohen Schleppstrecken oder Fahrten, wie sie dort heißen, auf niedrigen Wagen, den Strebräderhunden, den

eigentlichen Förderstrecken zugeführt, wo sie in Förderwagen gefüllt werden. Die Hunde zieht der Förderjunge oder Schlepper, der auf Achsel- und Beinbrett kriechend sich schnell fortbewegt, mittelst einer am rechten Fuß befestigten Fessel nach sich. Die weitere Förderung zum Schacht ist Seil-, daneben auch noch Pferdeförderung. Die neueren Schächte sind mit elektrisch angetriebenen Fördermaschinen ausgerüstet. 1906 wurden im Mansfelder Revier 687928 t Kupferschiefer gefördert und 19854 t Kupfer sowie 100123 kg Silber produziert bei einer Gesamtbelegschaft von 21239 Mann.

Einen großen Sieg gewann die bergmännische Technik gerade im Mansfelder Gebiet durch die erfolgreiche Überwindung der ganz ungewöhnlich schwierigen unterirdischen Wasserverhältnisse. Gehen wir ganz kurz auch hierauf ein. Der Gips des im Hangenden des Kupferschiefers folgenden Zechsteins ist vielfach infolge von Auslaugung durch Wasser mit weitverzweigten unterirdischen Hohlräumen, sogenannten Schlotten, durchsetzt, deren Züge der Neigung des Schiefers parallel ebenfalls nach dem Muldentiefsten sich senken. Diese Kanäle werden aus wasserreichen oberen Schichten fortwährend neu mit Wasser gefüllt. Trifft dann das Abteufen eines Schachtes auf einen solchen Schlottenzug, so müssen die gesamten Wasser mit zum Teil sehr hoher Wassersäule bis zum Niveau des Gipses herausgepumpt werden, ehe das Abteufen fortschreiten kann. Zwar gab es schon seit alter Zeit wasserabführende Stollen, unter denen der tiefste mögliche der Schlüsselstollen in Friedeburg an der Saale mündet und 31 km Länge hat, aber bis zu diesem müssen die Wasser aus den Tiefbauen gehoben werden. Von Zeit zu Zeit ereigneten sich gewaltige Wassereinbrüche, so namentlich im Jahre 1889 in Abbauen über der IV. Tiefbausohle gerade unter der Stadt Eisleben, wobei die Wasser bis über 120 m in den Grubenbauen stiegen, obwohl in der Minute etwa 70 cbm bis auf den Schlüsselstollen gehoben wurden. Nachdem man festgestellt, daß diese Wasser aus dem unweit von Eisleben gelegenen Oberröblinger See herrührten, auf dessen Grund sich Einsturztrichter gebildet hatten, führte die Gewerkschaft die großartige Unternehmung durch, diesen See trocken zu pumpen. Sie kostete Millionen. Man denke dabei an die großen Schwierigkeiten, die Anwohner für das entzogene Wasser zu entschädigen und ihnen auch in Zukunft Trink- und Brauchwasser zu sichern. Ein großer Teil des ehemaligen Seebodens konnte als Ackerland nutzbar gemacht werden. Der Wassereinbruch hatte übrigens noch ein weiteres unangenehmes Nachspiel für den vielgeprüften Bergbau. Im September 1892 begannen in der Stadt Eisleben Erderschütterungen mit Senkungserscheinungen im Gefolge. Da gleichzeitig die Wasser aus dem Schlüsselstollen mit etwa 12% Salzgehalt abliefen, suchte man das mit dem Einbruch von Hohlräumen in Zusammenhang zu bringen, die durch Auslaugung von Steinsalzlagern entstanden seien, und machte den Bergbau für diese Ereignisse verantwortlich, der dem unterirdischen Wasserlauf neue Wege gewiesen habe. Mit den bei Eisleben vorhandenen, größtenteils unterirdisch eingebauten Wasserhebungsmaschinen können im Maximalbetrieb zusammen rund 200 cbm Wasser in der Minute von den verschiedenen Tiefbausohlen dem Schlüsselstollen zugehoben werden. Wegen des etwa 16% betragenden Salzgehaltes der Grubenwässer müssen alle mit dem Wasser in Berührung kommenden Pumpenteile aus Bronze gefertigt werden.

Ein Teil der für die Fördermaschinen und für die elektrisch betriebene Zentralwasserhaltung nötigen elektrischen Kraft wird durch eine Gichtgaszentrale auf der Krughütte mit zwei liegenden Körtingschen Viertaktmotoren und zwei liegenden Oechelhäuser Motoren erzeugt, und zwar als Drehstrom von 3000 Volt Spannung.

Außerdem dienen hierzu mehrere Dampfzentralen.

Von noch größerem Alter als der Mansfelder ist der Goslarische Kupferbergbau, der auf einem Erzlager am Rammelsberg nahe der Stadt umgeht. Bereits unter Otto dem Großen hat hier eine Kupfergewinnung bestanden, und die Goslarischen Bergleute wurden sozusagen die Pioniere des deutschen Erzbergbaues, die ihn später unter anderem auch im Sächsischen Erzgebirge aufleben ließen. Das 15 bis 20 m, an einer Stelle bis 30 m mächtige Lager enthält nicht nur Kupferkies, sondern auch Bleiglanz und Zinkblende. Unser Bild gibt eine Ansicht von dieser altehrwürdigen Grube am Nordrande des Harzes.



Abbildung 9. Der Rammelsberg bei Goslar.
(Nach einer Aufnahme von Zirkler.)

3. DIE VERHÜTTUNG DER KUPFERERZE

Nachdem wir so eine Reihe der wichtigsten Formen von Kupfererzlagerstätten und von großen Bergwerksbetrieben zum Abbau von solchen kennen gelernt haben, soll im folgenden in den allgemeinsten Umrissen ein Bild von den Verfahren gegeben werden, die man in den modernen Kupferhütten zur Erzeugung des Kupfers aus jenen Erzen anwendet. Dies veranlaßt uns, zunächst etwas auf den gegenwärtigen Stand des Metallhüttenwesens einzugehen.

Die Hüttenkunde oder Metallurgie ist gegenwärtig nicht mehr eine rein empirische Wissenschaft, wie sie es noch zu Beginn des vorigen Jahrhunderts war. Seit den ersten, anfangs nur wenig beachteten Versuchen von Karsten, Berthier und anderen hat die theoretische Durcharbeitung auch dieses Zweiges der Technik gewaltige Fortschritte gemacht, wobei neben der rasch fortschreitenden Ausbildung des Maschinenwesens und der Elektrotechnik die seit Lavoisier sich außerordentlich rasch entwickelnde Chemie stark fördernd gewirkt hat.

Namentlich hat die physikalische Chemie, und zwar wieder besonders deren Sondergebiete und Anwendungsgebiete, die Lehre vom homogenen Gleichgewicht, die Thermochemie, die Elektrochemie und die Lehre von den heterogenen Gleichgewichten dem Hüttenmann ein reiches wissenschaftliches Material geliefert, mit Hilfe dessen ihm ein genaueres Studium seiner Hüttenprozesse und Hüttenprodukte vielfach erst möglich geworden ist.

Die Lehre vom chemischen Gleichgewicht setzt den Hüttenmann in die Lage, bis zu einem gewissen Grade vorauszusagen, welchen Verlauf unter gegebenen Bedingungen von Mengenverhältnis und Druck ein chemischer Prozeß bei verschiedener Möglichkeit des Verlaufes nehmen wird, und in welcher Weise sich dieser ändern wird, falls die angegebenen Bedingungen eine bestimmte Änderung erfahren. Es ist ihm also durch das Massenwirkungsgesetz die Möglichkeit gegeben, durch entsprechende Erwägungen bis zu einem gewissen Grade die günstigsten technischen und ökonomischen Verhältnisse für einen Prozeß, den er auszuführen gedenkt, festzustellen und sich

danach bei der Durchführung desselben zu richten. Die Thermochemie sodann, die sich mit dem Studium der Verschiebungen in dem Wärmeinhalt eines Systems als ständigen Folgeerscheinungen der chemischen Reaktionen befaßt, gibt dem Hüttenmann die nötigen Aufklärungen über den Einfluß eintretender Temperaturänderungen auf die Verschiebungen des chemischen Gleichgewichts in den seinen Hüttenprozessen zugrunde liegenden chemischen Reaktionen und gestattet ihm, diesen Einfluß zu berechnen. Die Umgestaltung der gewöhnlichen chemischen Gleichungen, die nichts über den Energieumsatz in einem System, über den Unterschied im Energieinhalte desselben vor und nach der Reaktion angeben, zu thermochemischen Gleichungen liefert ihm die Kenntnis von den Wärmetönungen der für seine Hüttenprozesse wichtigen Körper und Reaktionen, d. h. von eben diesen eintretenden Wärmezustandsverschiebungen des betreffenden Systems. Die Möglichkeit der Berechnung von Wärmetönungen der in Betracht kommenden Reaktionen setzt ihn sodann in die Lage, die für die Prozesse erforderlichen Wärmemengen rechnerisch zu kontrollieren und wiederum die Bedingungen ausfindig zu machen, unter denen eine Verminderung der von außen zuzuführenden Energie und somit eine Verbilligung des Prozesses möglich ist. Einen sehr wertvollen Wegweiser bei der Untersuchung der Existenzbedingungen und Existenzgrenzen chemischer Gleichgewichte bildet die Phasenregel von J. W. Gibbs, welche die ganz bestimmten Beziehungen zwischen der Zahl der unabhängigen Bestandteile, welche an einem heterogenen chemischen Gleichgewicht teilnehmen, angibt. Die Elektrochemie sodann, das ist dasjenige Gebiet der chemischen Energetik, das die Beziehungen zwischen elektrischer und chemischer Energie behandelt, gibt dem Hüttenmann ein genaues Bild von den Vorgängen, die bei der Elektrolyse stattfinden. Die Kenntnis der Größe der zur Abscheidung der verschiedenen Körper aus ihren feuerflüssigen oder wässerigen Lösungen erforderlichen Stromspannungen ermöglicht es dem Hüttenmann, aus einer Lösung verschiedener Metalle durch passende Änderung der Stromspannungen eine getrennte Abscheidung der einzelnen Metalle herbeizuführen. Die Kenntnis der Vorgänge bei der Elektrolyse setzt ihn in die Lage, die besten Bedingungen für die Gewinnung eines Metalls von bestmöglicher Beschaffenheit festzustellen und die Kosten für den Gewinnungsprozeß bis zu einem gewissen Grade vorher zu berechnen. Zu einem fest umgrenzten Gebiet hat sich die Anwendung der physikalischen Chemie auf die Lehre von den Metallen und ihren Legierungen entwickelt. Diese, die Metallographie, hat durch die Übertragung der Gesetze der Salzlösungen auf die Legierungen, Lösungen der Metalle ineinander, und durch die Einführung der Metallmikroskopie wertvolle Dienste geleistet. Sie befaßt sich mit der beschreibenden Feststellung der einzelnen Gefügebildner der Legierungen und der Ermittelung ihrer chemischen und physikalischen Eigenschaften sowie der Untersuchung der Veränderungen in der Art und Anordnung der Gefügebildner, welche durch verschiedene mechanische Behandlung der Metalle und ihrer Legierungen und durch chemische Angriffe herbeigeführt werden. Sie liefert dadurch dem Hüttenmann wertvolle Kenntnisse über die Beschaffenheit seiner Fabrikate und die Möglichkeit, dieselbe zu verbessern.

Wenn auch die Zeit, seit der man sich mit der physikalischen Chemie beschäftigt, erst kurz ist, wenn auch die Schwierigkeiten, die sich der Anwendung dieser Wissenschaft auf die theoretische und praktische Hüttenkunde bei der großen Mannigfaltigkeit und der Vielseitigkeit der im Hüttenbetrieb in Betracht kommenden Faktoren außerordentlich große sind, so ist doch die Nutzbarmachung chemisch-physikalischer Denk- und Arbeitsweise neben der analytisch-chemischen Forschung auf die

Hüttenwissenschaft für dieselbe bis jetzt schon außerordentlich fruchtbringend gewesen, und es steht zu erwarten, daß die Weiterentwicklung der physikalischen Chemie noch viel zur Förderung der Kenntnisse auf dem Gebiete der Metallgewinnung beitragen wird.

Von den technisch wichtigen Metallen spielt wohl nach dem Eisen das Kupfer im menschlichen Leben die größte Rolle.

Für die Verarbeitung der reicheren sulfidischen und oxydischen Kupfererze werden im allgemeinen trockene Verfahren, Röst- und Schmelzverfahren, verwendet, während aus ärmeren Erzen das Kupfer auf nassem Wege, d. h. unter Verwendung wässeriger Lösungsmittel gewonnen wird. Die trockenen Kupferhüttenprozesse beruhen im wesentlichen auf der großen Verwandtschaft des Kupfers zum Schwefel. Mit Hilfe dieser ist es möglich, den Kupfergehalt des Erzes in einem sulfidischen Material, dem Kupferstein, anzureichern, während die Gangart mit Hilfe geeigneter Zuschläge und Flußmittel in die Form von Schlacken, von so gut wie kupferfreien Gemengen von Silikaten der verschiedenen Gangbestandteile übergeführt wird. Der Kupferstein, ein Gemenge von Schwefelverbindungen des Kupfers und des Eisens, ist also gewissermaßen ein auf feuerflüssigem Wege erzieltes Aufbereitungsprodukt des Kupfererzes und scheidet sich leicht auf Grund seines hohen spezifischen Gewichts von den spezifisch leichteren Schlacken ab. An diesen ersten Teil des Kupfergewinnungsprozesses schließt sich eine Reihe von hüttenmännischen Arbeiten an, welche die Trennung des Kupfers im Kupferstein vom Eisen und Schwefel bezwecken. Diese beruhen nun darauf, daß das Kupfer eine größere Verwandtschaft zum Schwefel besitzt als das Eisen, daß dieses wieder eine größere Verwandtschaft zum Sauerstoff besitzt als das Kupfer, und daß schließlich der Schwefel des Schwefelkupfers eine größere Verwandtschaft zum Sauerstoff der Oxyde des Kupfers als zum Kupfer selbst hat. Erzeugt man aus dem Kupferstein durch Röstung, oxydierende Behandlung desselben in der Hitze, ein Gemenge von Oxyden, Sulfaten und Sulfiden des Kupfers und des Eisens und verschmilzt man dieses, so wird man einen an Kupfer reicheren und an Eisen ärmeren Stein erhalten. Da nämlich die durch die Röstung verminderte Schwefelmenge des Steines nicht mehr zur Bindung der gesamten vorhandenen Metallmenge ausreicht, so wird der Schwefel zunächst sich mit dem Kupfer zu Kupfersulfür (Cu_2S), und erst der dann noch verbleibende Rest von Schwefel mit Eisen zu Eisensulfid (FeS) vereinigen. Gleichzeitig wirken aber auch noch die Oxyde des Kupfers auf das Kupfersulfür unter Entwicklung von schwefliger Säure und Abscheidung von Kupfer ein (Flammofenprozeß), oder es wird Kupfer aus den Oxyden durch Kohlenoxyd und Kohle reduziert (Schachtofenprozeß). Das gebildete metallische Kupfer schließlich zerlegt vorhandenes Eisensulfid unter Bildung von Kupfersulfür und metallischem Eisen, das seinerseits wieder durch Eisenoxyd in Eisenoxydul übergeführt wird. Das durch Schwefel nicht gebundene Eisen wird in Form eines Eisenoxydulsilikats verschlackt. Durch Wiederholung dieser Arbeiten, des teilweisen Abröstens und des Schmelzens des Steines, ist es möglich, aus dem Stein, dem Gemenge von $x\,Cu_2S + y\,FeS$, schließlich einen Kupferstein herzustellen, der angenähert reines Schwefelkupfer ist. Röstet man nun dieses vollständig ab, so kann man durch reduzierendes Schmelzen des hierbei erhaltenen Kupferoxyds als Endprodukt der gesamten Arbeiten ein Rohkupfer (Schwarzkupfer) erzielen, das nur noch von seinen Verunreinigungen zu befreien, zu raffinieren ist, um ein handelsfähiges Endprodukt zu liefern. Röstet man dagegen das Schwefelkupfer nur teilweise ab, so kann man durch Umsetzungen zwischen Kupfersulfür und Kupferoxyd ebenfalls zu Rohkupfer gelangen.

Durch eine einmalige hinreichend weitgehende Abröstung des Schwefels des sulfidischen Kupfererzes und ein darauffolgendes reduzierendes Verschmelzen des oxydischen Gemenges würde man zwar ebenfalls auf metallisches Kupfer kommen, aber dieser einmalige Röst- und Schmelzprozeß würde mit starken Kupferverlusten durch Verschlacken verbunden sein und ein Rohmetall liefern, das durch andere, ebenfalls reduzierte Metalle in erheblichem Maße verunreinigt sein würde. Aus diesem Grunde zieht man es vor, in der angegebenen Weise den Kupfergehalt des Erzes durch eine Reihe von Röst- und Reduktionsprozessen allmählich in einem an Kupfer immer reicher werdenden Steine anzusammeln; denn bei einem jeden Röst- und Schmelzprozeß wird eine nicht unerhebliche Menge Verunreinigungen entfernt, so daß das erhaltene Kupfer wesentlich reiner wird. Meist erzeugt man also zunächst einen sogenannten Rohstein mit 25—45% Kupfer, den man in der angedeuteten Weise in einen Konzentrationsstein mit 65—75% Kupfer überführt, der auf Schwarzkupfer verarbeitet wird. Die Schlacke der Erzarbeit ist bei der angegebenen Konzentration des Kupfers im Stein absetzbar, kann also auf die Halde gestürzt werden. Die Anzahl der Röst- und Schmelzprozesse, die man mit dem Rohstein vornimmt, um aus ihm Konzentrationsstein zu erzeugen, hängt von der Menge der Verunreinigung des Rohsteines ab. Bei diesen Zwischenarbeiten ist es auch möglich, die Verunreinigungen des Steines in einem kleinen Teile der Kupfermenge anzusammeln. Man arbeitet bei der Erzeugung des Konzentrationssteines auf den Fall geringer Mengen metallischen Kupfers, sogenannten Bodenkupfers. In dieses geht die Hauptmenge der Verunreinigungen über, so daß man eine geringe Menge unreinen Kupfers, das auf Kupfer zweiter Qualität oder auf Kupfervitriol verarbeitet wird und einen reinen Kupferstein erhält, der sich für die Verarbeitung auf bestes Kupfer des Handels eignet.

Die Röstung der Erze und Steine erfolgt entweder in Flammöfen, Öfen, bei denen die Massen durch die Flammen einer Feuerung direkt erhitzt werden, oder in Gefäßöfen, bei denen die Flammengase eine Muffel, d. i. einen durch Wandungen und Gewölbe umschlossenen Raum, in dem sich das zu röstende Material befindet, umspülen, dieses also indirekt erhitzen. Die Röstöfen hat man im Interesse der Verbilligung der Kosten in neuester Zeit in weitgehender Weise verbessert. Namentlich sind es die Amerikaner, die, um an Arbeitslöhnen zu sparen, im großen Maßstabe die mechanische Röstung eingeführt haben, bei der das Durcharbeiten und das Transportieren der Massen durch Maschinenkraft bewirkt wird. Rotierende, horizontal oder etwas geneigt gelagerte Zylinder, Flammöfen, in denen eiserne Krählvorrichtungen, die durch Maschinen angetrieben werden, für das Durcharbeiten und das Transportieren der Massen von dem einen Ende des Ofens zum anderen sorgen, sind mit Vorteil an die Stelle der alten mit Hand betriebenen Öfen getreten, denen gegenwärtig auch in Deutschland bei den ständig wachsenden Arbeitslöhnen jene mechanischen Öfen stark Konkurrenz machen. Auch die Verblaseprozesse, wie sie für die Röstung von Bleierzen zuerst angewendet worden sind, bei denen die Erze durch einen in die Masse derselben von unten eingeblasenen Windstrom abgeröstet werden, haben in dem Kupferhüttenbetriebe für geeignete Erze mit Vorteil wegen der weitgehenden Ersparnis an Brennstoff und an Arbeitskosten Eingang gefunden.

Die für die Verschmelzung von Erzen verwendeten Schachtöfen sind Öfen mit vertikaler Hauptachse, in denen das Erz, gemengt mit Zuschlägen, Flußmitteln und dem erforderlichen Brennmaterial, niedersinkt, bis der Brennstoff in einer Zone, der Schmelzzone, durch den mit Hilfe einer Anzahl Düsen, entsprechend geformten Metall-

röhren, eingeblasenen Wind verbrannt und die Beschickungsmasse durch die erzeugte Hitze zum Schmelzen gebracht wird. Die Verbrennungsgase steigen im Schacht empor und wärmen das Beschickungsmaterial vor. Die geschmolzenen Massen sammeln sich entweder im tiefsten Teile des Ofens, dem Tiegel, an und werden aus diesem durch Abstechen, Abfließenlassen durch in entsprechender Höhe angebrachter Öffnungen aus dem Ofen entfernt. Oder man läßt die geschmolzenen Massen auf der geneigten Ofensohle, der Spur, durch eine Öffnung, das Auge, aus den Ofen heraus in einen Tiegel, den Spurtiegel, abfließen. Oder man sammelt schließlich die Massen in einem im tiefsten Teil des Ofens befindlichen Behälter, Sumpf, der aus dem Ofen herausragt, an und sticht sie nach Bedarf aus dem Behälter ab. Man spricht im ersten Fall von Tiegelofenzustellung, im zweiten Fall von Spurofenzustellung und im dritten Fall von Sumpfofenzustellung. Bei den Schachtöfen für Kupferschmelzprozesse ist im allgemeinen die Spurofenzustellung gebräuchlich. Die Trennung der geschmolzenen Massen nach dem spezifischen Gewicht geschieht also in einem vor dem Ofen befindlichen Tiegel.



Abbildung 10. Flammofen für die Kupfersteinkonzentration auf der Hütte zu Oker. (Nach Zirkler, Clausthal.)

Beim Flammofen (Abbildung 10), dessen Hauptachse eine horizontale ist, wird das Erz, gemischt mit dem Zuschlagsmaterial, durch Öffnungen im Gewölbe des Ofens auf den Herd, die Sohle desselben, aufgegeben und dort der Einwirkung der Flammgase einer an den Herd angebauten Rostfeuerung ausgesetzt, durch deren Hitze die Beschickung zum Schmelzen gebracht wird. Die geschmolzenen Massen scheiden sich auf dem Herde nach dem spezifischen Gewicht voneinander. Die spezifisch leichtere Schlacke wird von dem Steinbad durch eine Öffnung abgezogen, während der Stein durch eine tiefer liegende Öffnung abgestochen wird. Oder es werden beide Produkte gemeinsam abgestochen und scheiden sich dann in terrassenförmig angeordneten Tiegeln nach dem spezifischen Gewicht.

Das Verarbeiten der kupferhaltigen Materialien im Schachtofen (Abbildung 11), der Schachtofenprozeß, hat sich im wesentlichen in Deutschland entwickelt und wird dementsprechend auch der deutsche Prozeß genannt, während der Flammofenprozeß oder englische Prozeß im wesentlichen in England seine Ausbildung erfahren hat. Beide Verfahren verwendet man jetzt im allgemeinen nicht mehr in ihrer ursprünglichen Reinheit an, sondern man kombiniert sie in der Regel in der Weise, daß man das Erz im Schachtofen auf Rohstein verarbeitet und diesen durch Flammofenprozesse auf Kupfer zugute macht. Der Schachtofenprozeß hat gegenüber dem Flammofenprozeß namentlich den Vorteil, daß er bei der Erzverarbeitung kupferarme absetzbare Schlacken liefert, während letzterer seinerseits wieder den Vorteil der Erzeugung eines reineren Kupfers besitzt.

Außerordentlich groß sind die Fortschritte des Kupferhüttenwesens bezüglich des Baues der für die Schmelzprozesse erforderlichen Schmelzöfen. Der Rundofen, der

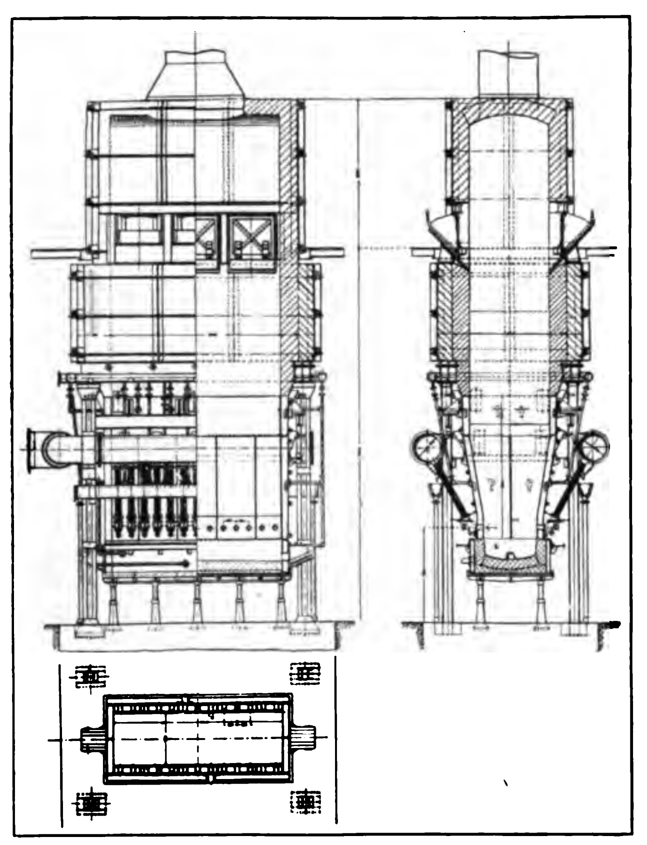


Abbildung 11. Kupfersteinschmelzofen, 1075 × 3400 mm Formebene, gebaut von der Maschinenbauanstalt „Humboldt“, Kalk-Köln a. Rh.

Schachtofen mit kreisförmigem Horizontalquerschnitt, ist sehr in den Hintergrund getreten, da es nicht möglich ist, seine Produktion über eine Maximalgrenze hinaus wegen der dadurch erforderlich werdenden Steigerung der Windpressung zu erhöhen. Der viereckige Schachtofen, bei dem das Durchsetzquantum durch Vergrößerung der Längsseiten beliebig erhöht werden kann, ohne daß die Pressung des auf den Längsseiten des Ofens zugeführten Windes gesteigert werden muß, ist in seinen Maßen im Laufe der letzten Jahre ganz bedeutend vergrößert worden. Er wird gegenwärtig in einem Teil oder vollständig als Wassermantelofen gebaut, d. h. als Ofen, dessen Wände nicht mehr aus Mauerwerk, sondern aus Metallkästen, in denen Kühlwasser zirkuliert, bestehen, da die weit größere Haltbarkeit derselben gegenüber den gemauerten Wänden so bedeutende Vorteile brachte, daß der geringe Wärmeverlust durch das Kühlwasser nicht merklich in Betracht kommen kann. Der größte Ofen dieser Art, der wohl bis jetzt für die Kupferschmelzerei gebaut worden ist, ist ein Schachtofen auf der Washoe-Hütte der Anaconda Copper Mining Company, der eine Länge von 15,5 m und eine Breite von 1,40 m besitzt. Den für das Schmelzen erforderlichen Wind liefern 88 auf den Langseiten befindliche Düsen. Wie die Schachtöfen, haben auch die Flammöfen im Laufe der letzten Jahre ganz gewaltige Dimensionen angenommen. Und der Betrieb in den Flammöfen, der bei den kleineren und mittleren Öfen ein periodischer ist, ist nahezu ein kontinuierlicher geworden. Die größten Flammöfen besitzt ebenfalls die Washoe-Hütte. Einer dieser Ofen setzt auf einem Herde von 5,8 m lichter Breite und 31 m lichter Länge in 24 Stunden 250—300 t Erz durch, während gleichzeitig auf einem Rost von 2,13 m Breite und 4,88 m Länge 52,6 t Kohle zur Erlangung der erforderlichen Hitze verbrannt werden. Daß mit einem derartigen Massenbetrieb eine bedeutende Brennstoff- und Arbeitsersparnis und damit eine ganz bedeutende Verbilligung der Hüttenkosten Hand in Hand geht, ist ohne weiteres klar.

Eine große Rolle spielt in gewissen Gegenden, und zwar namentlich in Nordamerika und Australien, eine Abart des Schachtofenprozesses, ein Verfahren, das als sogenanntes amerikanisches Verfahren oder Pyritic smelting in Gegenden, wo auf eine Schädigung der Landwirtschaft durch Abgase nicht Rücksicht zu nehmen ist, sich wegen seiner großen Vorteile eingebürgert hat. Bei diesem Prozeß verwendet man

den Schwefel- und den Eisengehalt der Erze, die roh verschmolzen werden, als Brennmaterial dadurch, daß man im entsprechend gebauten Schachtofen durch Einblasen von reichlichen Mengen Luft eine oxydierende Atmosphäre erzeugt, in der Schwefel und Eisen verbrennen, wodurch die zum Schmelzen der Massen erforderliche Wärme geliefert wird. Recht gut hat sich eine Abänderung des Pyritischen Schmelzens, die von Knudsen ausgeführt worden ist, in die Hüttenpraxis eingeführt. Er führt den Prozeß nicht im feststehenden Schachtofen, sondern in einem mit Magnesia ausgemauerten drehbaren Schachtofen, dessen Schacht nach unten stark keilförmig zusammengezogen ist, einem Konverter, aus. Der Betrieb ist ein periodischer, was insofern von größtem Vorteil ist, weil die während des Prozesses im Schacht gebildeten Ansätze leicht nach dem Entleeren des Konverters entfernt werden können.

Die Kupferbessemerei, die aus dem Rohstein rascher und billiger Schwarzkupfer erzeugt und daher seit mehreren Jahrzehnten eine weitgehende Anwendung findet, ist chemisch nichts anderes als ein abgekürzter englischer Prozeß. Sie beruht darauf, daß ein in flüssigen Kupferstein eingeblasener Windstrom die Schwefelverbindungen des Kupfers und Eisens unter Entbindung von schwefliger Säure in Kupferoxyd und Eisenoxydul verwandelt. Während das Eisenoxydul durch die Kieselsäure des Konverterfutters verschlackt wird, setzt sich das Kupferoxyd mit noch vorhandenem Schwefelkupfer zu metallischem Kupfer unter Entwicklung von schwefliger Säure um.

Die für diesen Prozeß von der Eisenbessemerei übernommene Bessemerbirne mußte insofern eine Umgestaltung erfahren, als der Wind nicht mehr von unten, sondern von der Seite in einem gewissen Abstande über dem Boden eingeblasen werden muß, da andernfalls das sich bildende Kupfer erstarrt und die Düsen verstopft. Außer der Birnenform verwendet man auch zylindrische (Abbildung 12a und 12b) und kugelförmige Konverter. Einer allgemeinen Verbreitung der Kupferbessemerei bereitet die Frage der Unschädlichmachung der schwefligen Säure, die vermischt mit Metalldämpfen usw. dem Konverter entströmt, vorläufig noch Schwierigkeiten.

Die Raffination, Verarbeitung des Rohkupfers auf Handelskupfer, geschieht entweder auf trockenem oder auf elektrolytischem Wege. Die letztere Art kommt nur in Betracht, wenn das Kupfer edelmetallhaltig ist. Da nun der Elektrolyse nur ziemlich reine Kupfersorten mit mindestens 98% Kupfer unterworfen werden können, so werden unreine Kupfersorten, namentlich das sogenannte Bodenkupfer, durch Laugen mit Schwefelsäure unter gleichzeitiger Zuführung von Luft und durch Auskristallisierenlassen der erhaltenen Lösungen auf Kupfervitriol verarbeitet. Um den sauren Löselaugen eine möglichst große Oberfläche an den Kupfergranalien zu bieten, sticht Dr. Haege das Kupfer aus dem Flammofen vorzeitig in Wasser ab, derart, daß die in dem Metall enthaltene schweflige Säure die Körner zu großen porösen Kugeln aufbläst. Die Raf-



Abbildung 12a. Kupferkonverter beim Ausgießen des Schwarzkupfers.

fination des Kupfers durch Elektrolyse geschieht in der Weise, daß man es als Anode (Abbildung 13) unter Anwendung von Kupferblechen als Kathoden in einem Elektrolyten mit ungefähr 150 g Kupfervitriol und 50 g Schwefelsäure im Liter mit einer Stromdichte von 30—400 Ampere elektrolysiert. Während man auf dem Kontinent mit niedrigen Stromdichten arbeitet, weil man das Kathodenkupfer direkt in der Form, in der es bei der Elektrolyse fällt, in den Handel gibt, wendet man in Amerika im Interesse der Ersparnis von Anlagekosten und Zeit hohe Stromdichten an, die ein Kupfer liefern, das, bevor es in den Handel geht, nochmals umgeschmolzen werden muß. Die Raffination des Schwarzkupfers auf feuerflüssigem Wege besteht aus einer Reihe von Einzelprozessen, die an ein und demselben Kupferbade hintereinander ausgeführt werden. Das durch Reduktion des Kupferoxyds oder durch Einschmelzen des Rohkupfers erhaltene Kupferbad wird zunächst oxydierend behandelt, indem man auf dasselbe Wind aufbläst. Hierdurch werden die im Metall enthaltenen Verunreinigungen oxydiert und verflüchtigt oder verschlackt. Die in dem Metall enthaltene schweflige Säure wird durch das Dichtpolen ausgetrieben. Man taucht zu diesem Zweck in das Metallbad Stangen von frischem Holz; die nun infolge der trockenen Destillation desselben auftretende Gasentwicklung treibt die Säure aus und macht das erhaltene Kupfer dicht und blasenfrei. Das durch diesen Prozeß in dem Bad gebildete Kupferoxydul, das das Kupfer spröde und brüchig

Abbildung 12b. Kupfer-Bessemer-Konverter mit elektrischem Antrieb und festem Stand, gebaut von der Maschinenbauanstalt „Humboldt", Kalk-Köln a. Rh.

macht, entfernt man nun durch einen zweiten Polprozeß, den Zähpolprozeß, der reduzierend wirkt. Das erhaltene sogenannte hammergare Kupfer ist Handelsprodukt.

Untersuchungen von Dr. E. Günther und Versuche, die unter seiner Leitung auf den Werken der Mansfeldschen Kupferschiefer bauenden Gewerkschaft ausgeführt worden sind, stellen für die Kupfergewinnungsprozesse nicht unerhebliche Betriebsvereinfachungen in Aussicht, die überdies neben anderen Vorteilen auch eine Verminderung der bisherigen Edelmetallverluste mit sich bringen werden. Günther nahm das alte Problem der Kupfersteinelektrolyse wieder auf und fand, daß die bisher diesen Prozeß hindernden Schwierigkeiten nicht mehr auftreten, wenn man von einem Kupferstein mit 72 bis 76 % Kupfer ausgeht. Die von ihm gleichfalls zur Beantwortung der Frage der Silberverluste während der verschiedenen Stadien der Kupferbessemerei in Aachen ausgeführten Untersuchungen zeigten, daß die Edelmetallverluste bei diesem Prozeß im wesentlichen während der zweiten Phase des Prozesses, also nach der Verschlackung des Eisens, auftreten.



Abbildung 13. Anodengießerei auf der Hütte zu Oker. (Nach Zirkler, Clausthal.)

Die Ergebnisse der Untersuchungen Günthers sind auf der Bessemerversuchsanstalt der Mansfeldschen Gewerkschaft im vollen Umfange im großen als richtig nachgewiesen worden. Das Verfahren der Kupfersteinelektrolyse, das als Günther-Borchers-Frankesches Verfahren patentiert ist, ist ebenfalls auf den Mansfeldschen Werken in großem Maßstabe versucht worden, und es hat sich gezeigt, daß dasselbe technisch im großen durchführbar ist. Daß man von einer Einführung des Verfahrens auf den Mansfelder Werken absah, ist wohl außer auf die Schwierigkeiten, die die Unschädlichmachung der Konvertergase durch den Bleikammerprozeß bereitete, und die Frage, wie sich die Kupferabnehmer der Gewerkschaft, die bisher das gute Feuerraffinat bezogen hatten, zu dem Ersatz desselben durch Elektrolytkupfer stellen würden, auf die Ungunst der Zeitverhältnisse beim Abschluß der Versuche zurückzuführen. Die Versuche haben aber jedenfalls gezeigt, daß eine erfolgreiche ökonomische Durchführung der Vereinfachung der Hüttenprozesse, die nunmehr aus Erzschmelzen, Verblasen auf Stein mit 72 % Kupfer und Kupfersteinelektrolyse bestehen würden, unbedingt möglich ist, namentlich wenn die Frage der Unschädlichmachung der Konvertergase gelöst worden sein wird, an welcher Möglichkeit nicht zu zweifeln ist.

Die reichen oxydischen Kupfererze schlägt man im allgemeinen an entsprechender Stelle beim Verarbeiten sulfidischer Erze zu. Die Frage der Verarbeitung ärmerer Kupfererze auf nassem Wege, die sich wegen ihrer Zusammensetzung nicht für die Schmelzprozesse eignen, spielt gegenwärtig eine große Rolle, wo immer mehr derartige Erze aufgeschlossen werden; doch ist sie namentlich für quarzige Kupfererze mit beträchtlichen Kalkgehalten noch nicht gelöst.

4. DAS VORKOMMEN DES ZINNS UND DES WOLFRAMS UND SEINE GEWINNUNG

Zinn und Wolfram finden sich meist zusammen auf ein und derselben Lagerstätte, oder wenigstens sind sie räumlich nahe benachbart. Beider Vorkommen steht in engstem genetischen Zusammenhang mit Granitmassen von besonderer chemisch-mineralogischer Zusammensetzung. Und zwar sind es Granite mit kieselsäurereichen Feldspäten (Orthoklas und Albit), oft mit Lithionglimmer, Topas oder Turmalin. Dies zeigt sich vor allem in den zahlreichen Zinn- und Wolframlagerstätten des sächsisch-böhmischen Erzgebirges.

Die Zinngewinnung begann hier bereits im Ausgange des 12. Jahrhunderts, als man zuerst im ausgebreiteten Schuttkegel am Ausgange des steilen Graupener Tales bei dem heutigen Mariaschein, später an vielen anderen Orten auch des sächsischen Gebirgsanteils Zinnstein durch Seifenarbeit aus Geröll und Sand zu waschen begann. Noch bis 1830 bestanden zwischen Eibenstock und Johanngeorgenstadt solche Seifenbetriebe, die in moderner Zeit ganz unmöglich sind, weil sie die inzwischen im Kulturwert gestiegenen Talböden zu sehr verwüsten. Längst hat man die primären Lagerstätten in Angriff genommen, und auch hier liegt die Hauptblütezeit des Bergbaues schon weit zurück.

Die wichtigsten Gruben sind die bei Altenberg und Zinnwald im östlichen und bei Geyer im mittleren Erzgebirge, größtenteils auf sächsischer Seite.

Zu Altenberg setzt ein postkarbonischer Granitstock durch Porphyre der Permzeit. In seiner Scheitelregion ist er selbst sowohl wie die von ihm durchbrochenen Quarzporphyre und Granitporphyre von zahllosen Spältchen und größeren Klüften durchädert, die Zinnstein (SnO_2), etwas gediegen Wismut, Arsenkies, Kupferkies, Schwefelkies, Molybdänglanz, Wismutglanz, Eisenglanz, Wolframit und Magnetit neben Quarz, Lithionglimmer, Topas und Flußspat enthalten, eine Mineralkombination, die auch sonst für die Zinnerzlagerstätten charakteristisch ist. Zu beiden Seiten auch des zartesten, vielleicht nur messerschneidedicken Spältchens ist das Nebengestein in Zwitter umgewandelt, ein zinnsteinhaltiges, wesentlich aus Quarz, Lithionglimmer und Topas bestehendes Zersetzungsprodukt aus Granit oder Porphyr. Die ganze sehr ausgedehnte erzreiche Zone über dem Granit und in dessen Scheitel wird Zwitterstock genannt. Die kleinen Gänge mit ihren schmalen Zwitterbändern bilden darin ein „Stockwerk", ein so dickes Netzwerk, daß die ganze Masse, wenn sie auch nur im Durchschnitt 0,3% Zinn und 0,006% Wismut enthält, den Abbau lohnt. Die von den früheren Bergleuten erzeugten riesigen Weitungen brachen, da man nicht



Abbildung 14. Eine Wand der großen Pinge zu Altenberg.
(Nach einer Photographie von R. Reimann in Freiberg.)

genügende Stützpfeiler ausgespart hatte, 1620 in sich zusammen. Es entstand der malerische Einbruchskessel, den unsere Abbildung 14 darstellt, der sich allerdings seit 1620 durch wiederholtes Nachbrechen terrassenförmig angeordneter peripherischer Streifen stark verändert hat. Der Römerschacht ist im festen Granit nahe der Pinge geteuft worden. Von ihm aus hat man zahlreiche horizontale Strecken in den erzreichen Trümmerhaufen im Grunde der Pinge hineingetrieben und arbeitet hier „im Bruch" mittels Schubörtern, wie sie schon bei Falun erwähnt wurden. Würde man die Erze aus dem anstehenden Gebirge herausbrechen müssen, würde der Bergbau längst erloschen sein. Jenes vermeintliche Unglück des großen Bruches wurde so zum Glück des Bergstädtchens.



Abbild. 15. Ein Schubort im Zwitterstock zu Altenberg. (Nach einer Photographie von R. Reimann in Freiberg.)

Anders liegen die Verhältnisse in dem nahen Zinnwald an der sächsisch-böhmischen Grenze. Hier trifft man im Granit, der als ganz flacher Hügel von elliptischer Form im permischen Quarzporphyr aufsetzt, an Zinnstein und Wolframit ($WO_4[Mn,Fe]$) reiche Quarzgänge an, die meist 15—70 cm, ausnahmsweise bis 1,5 und 2 m dick sind. Während sonst die meisten Erzgänge senkrechte Platten darstellen oder wenigstens ziemlich steil fallen, liegen diese Gänge horizontal oder sind nur ganz flach nach den Granitgrenzen hin geneigt, treten auch in den umgebenden Porphyr ein. Wegen dieser „schwebenden" Lagerung nennt sie der dortige Bergmann Flötze. Sie gaben in den reicheren Abschnitten 0,4—0,8 % Zinn und etwa dreimal soviel Wolfram. Der Granit neben diesen Gängen ist vielfach zersetzt, seines Feldspats beraubt, mit Topas und Zinnstein imprägniert. Man nennt dieses Gestein, das ebenfalls Zinn lieferte, meist unter 0,2 %, Greisen. Früher war Wolfram wertlos, jetzt, seit es zur Herstellung von Wolframstahl sehr begehrt ist, lohnt es den Abbau weit mehr als Zinnstein. Auch beim nahen Ort Sadisdorf befindet sich eine aussichtsvolle Wolframgrube, die auch Molybdänglanz liefert.

Werfen wir bei Altenberg noch einen Blick auf die Aufbereitung der Zinnerze. Diese gelangen zunächst ins Pochwerk. Dieses hat man in letzter Zeit wesentlich verbessert, indem man die Aufschlagwasser vom Stauweiher mittelst einer Hochdruckleitung herbeiführte und eine Turbinenanlage errichtete. Die weitere Verarbeitung findet auf elektrisch angetriebenen Stoßherden statt. Hier wird das zu Mehl gepulverte Erz mit Wasser als „Trübe" über die flachgeneigte Ebene der Herdfläche geleitet, die durch regelmäßige Stöße fortdauernd erschüttert wird. Die leichten Teile, der Quarz und Glimmer, werden von dem Wasserstrom fortgespült, ein gelblicher Streifen von wesentlich Topas, der schwerer ist, bleibt länger zurück, und endlich, nachdem auch dieser fortgespült ist, erhält man einen „Erzschliech" mit etwa 24 % Zinn. — Dieser Schliech wird geröstet, um den Arsenkies zu zerlegen, wobei das Arsen als arsenige Säure im Flugstaub gewonnen wird. Der Röstrückstand wird zur Gewinnung

des Wismuts mit Salzsäure ausgelaugt. Aus der Lauge wird das Wismut als basisches Chlorwismut durch Wasser ausgefällt. Der Rückstand wandert nochmals auf Stoßherde und Kehrherde, bis man einen sehr reinen Zinnsteinschliech mit etwa 60% Zinn zum Einschmelzen bringen kann. Das Altenberger Verfahren ist sonach ein gutes Beispiel für eine teilweise chemische Aufbereitung.

Bei Zinnwald dagegen, wo Sulfide und Arsenverbindungen nur geringe Verbreitung auf den Gängen haben, werden die Zinn- und Wolframerze auf rein mechanische Weise nach dem Pochen auf Stoßherden aufbereitet.

Zurzeit ist man auch in der Gegend von Ehrenfriedersdorf und Geyer damit beschäftigt, den dortigen seit Jahren auflässigen Zinnerzbergbau wieder zu beleben.

Unter den übrigen europäischen Zinnerzregionen nimmt immer noch Cornwall eine weit bedeutendere Stellung ein als das Erzgebirge. Auch hier ist der Erzreichtum auf Granitstöcke und deren unmittelbare Nachbarschaft beschränkt. Die Granite durchbrechen dort ein Schiefergebirge von devonischem oder karbonischem Alter. Die Zinnerzgänge setzen im Granit oder Schiefer auf oder folgen Gängen von Quarzporphyr. Zum Zinnstein tritt in Cornwall häufig auch Zinnkies hinzu (SnS_4Cu_2Fe). Außerdem beteiligt sich vielfach Kupfer noch als Kupferkies. Manche Gänge haben, je tiefer hinab man sie verfolgte, ihren Charakter geändert, wie namentlich der Gang der dortigen Dolcoath-Grube. In oberen Teufen im Schiefer, nur teilweise im Granit, baute man auf Kupfererze, in unteren, wo man als Nebengestein allenthalben den Granit erreichte, auf Zinnerze. Der Zinnerzreichtum Cornwalls war schon im Altertum bekannt und verschaffte Großbritannien den Namen „Kassiteriden“. Die größte Jahresproduktion fällt in das Jahr 1871. Seit einigen Jahren wird auch Wolfram erzeugt, nachdem man den Wolframit mittels magnetischer Separatoren herauszuziehen versteht.



Abbildung 16. Eine Zinnseife nach alter chinesischer Art im Distrikt Kinta auf Malakka. Man sieht die Aufbereitung in hölzernen Gerinnen (Schleusen) mittels aufgeschütteten Wassers. (Nach einer Photographie von W. Wolff, 1908.)

Von außereuropäischen Zinnerzgebieten spielten lange Jahre hindurch die sogenannten Zinninseln, Bangka und Billiton im malaiischen Archipel, die Hauptrolle, jetzt sind sie durch die malaiische Halbinsel Malakka weit überflügelt worden. In diesen Ländern wird bei weitem die Hauptmasse des Zinnsteins aus Seifen gewonnen. Im Profil der angeschwemmten Massen eines Flußtales sind gewöhnlich die untersten Lagen von Geröll oder Sand am reichsten an Zinnstein, der aus der Zerstörung und Abtragung vielleicht nur armer Lagerstätten stammt, sich aber hier stark konzentriert hat. Die oberen Schichten, der Abraum, werden durch Bagger entfernt, die an Zinnstein reichen Lagen durch Schlämmen in Gerinnen von Holz oder in Gräben auf-

bereitet. In den großen modernen Betrieben benutzt man Strahlen von Druckwasser dazu, um die Abbaustöße der Seifenlager zu unterschrämen und die einstürzenden Sand- und Grandmassen in Gräben hinabzuspülen, auf deren Boden die reichen Teile sich niedersetzen. Diese werden dann gewöhnlich durch Handarbeit noch weiter angereichert, in Malakka durch Frauen mit hölzernen Schüsseln mittels Ausschwenkens der tauben Beimengungen.

Der Zinnexport aus den malaiischen Ländern, aus den sogenannten Straits Settlements, erreichte im Jahre 1908 mit 63700 t die größte bisher dagewesene Ziffer, bei einer gleichzeitigen Weltproduktion von 106700 t.

Auch in Australien wird viel Seifenzinn gewonnen. Die zinnsteinhaltigen Geröll- und Sandlager ruhen hier zum Teil unter einer Decke von Lavaströmen, wie z. B. im New-England-Distrikt von Neusüdwales. Ein sehr bedeutender Zinnerzproduzent ist Tasmanien mit dem berühmten Bergwerk Mt. Bischoff. Für Wolfram hat namentlich Queensland Bedeutung erlangt. Unter den amerikanischen Zinnerzregionen ist in erster Linie Bolivien zu nennen, unter anderen die hoch oben im Gebirge gelegenen Distrikte von Potosí, Oruro, Colquiri, Poopó, Tasna, Milluni und Chorolque. Früher hatte man hier nur auf Silber gebaut, denn in abweichender Weise finden sich hier mit den Zinnerzen zugleich reiche Silbererze. Zurzeit aber werden daneben bedeutende Mengen Zinn wie auch Wismut exportiert. 1901 z. B. betrug die Zinnausfuhr Boliviens 12943 t. Der Bergbau von Chorolque ist der höchste der Erde, er hält eine Meereshöhe von 5400 m inne. In den Vereinigten Staaten produziert neuerdings namentlich auch Alaska, und zwar auf der Seward-Halbinsel, Zinn. In Afrika hat besonders das transvaalische Zinnerzgebiet Bedeutung erlangt.



Abbildung 17. Ein moderner hydraulischer Seifenbetrieb bei Gopeng in Perak, Malakka. Rohrleitungen aus genietetem Stahlblech bringen das Druckwasser zu den Mundstücken oder Monitoren, die es gegen die Seifenstöße spritzen. Die abgespülten Massen nimmt der Setzgraben („Parit") auf, auf dessen Bett sich der schwere Zinnstein ansammelt. (Nach W. Wolff 1908 zuerst veröffentl. bei P. Krusch, Lagerstätten, 2. Aufl., 1911.)

Reine Wolframerzgänge ohne Zinnstein baut man in Kolorado und anderen nordamerikanischen Staaten wie auch in den Kordilleren von Argentinien ab.

Das Zinn wird aus dem Zinnstein durch Reduktion des Zinnoxyds mittels Kohle und Kohlenoxyd gewonnen. Doch ist die Durchführung dieses theoretisch einfachen Prozesses mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden. Die Reduktionstemperatur des Zinnoxyds liegt so hoch, daß zugleich mit dem Zinnoxyd diesem beigemengte Metalloxyde reduziert werden. Die erzeugten Metalle, namentlich das Eisen, verunreinigen das so dargestellte Zinn. Mit Kieselsäure verschlackt sich das Zinnoxyd leicht, mit Alkalien und alkalischen Erden bildet es Stannate, in welcher Form es ebenfalls in die Schlacken geht.

Aus diesen Gründen ist es unbedingt erforderlich, daß die dem Hüttenprozeß vorangehenden Aufbereitungsprozesse für eine möglichst weitgehende Anreicherung des Zinns im Erz und eine Entfernung der Fremdkörper, wie Kieselsäure, Silikate, alkalische Erden und fremde Metalloxyde, Sorge trägt. Nach einem Mürbebrennen quarziger Erzstücke und ihrer Zerkleinerung sorgt man durch Waschprozesse für die Entfernung der Gangart und durch eine oxydierende Röstung für die Entfernung von Schwefel, Arsen und Antimon. Die entstandenen Metallsulfate usw. laugt man alsdann aus. Durch Schmelzen des Zinnsteins mit entsprechenden Mengen von alkalischen Zuschlägen, wie Soda usw., hat man ihn von seinem Wolframgehalt, der in Form von wolframsaurem Alkali herausgelöst wird, zu befreien gesucht. Besser hat sich jedoch eine sorgfältige Trennung des Wolframits durch Handscheidung erwiesen. Das Wismut führt man durch Behandlung des Erzes mit Salzsäure in eine Lösung über, aus der man es durch Verdünnen mit Wasser als basisches Salz fällen kann. Wesentlich einfacher als angegeben gestaltet sich die Aufbereitung der meist sehr reinen Zinnseifen, die vielfach nur aus Waschprozessen besteht.

Die Reduktion des Zinnoxyds erfolgt entweder in Schachtöfen oder in Flammöfen. Die Hauptmenge des Zinns wird in verhältnismäßig kleinen Schachtöfen gewonnen. Diese liefern zwar eine ärmere Schlacke, aber auch ein unreineres Zinn als die Flammöfen, die überdies mit geringeren Metallverlusten durch Verflüchtigung arbeiten. Außer dem Rohzinn und der Schlacke erhält man beim Schmelzen noch die sogenannten Härtlinge, eine Eisenzinnlegierung. Die Schlacken, die Zinn mechanisch eingeschlossen und chemisch gebunden enthalten, werden einem wiederholten Verschmelzen mit Kohle in Schachtöfen unterworfen, gegebenenfalls auch zerkleinert und auf eingeschlossene Zinnkörner verwaschen. Dem Schlackenschmelzen werden die Härtlinge und die Produkte von der Raffination des Rohzinns zugesetzt. Das im Schachtofen oder Flammofen erzeugte Zinn ist noch durch eine Reihe von Metallen verunreinigt und muß dementsprechend raffiniert werden. Dieser Reinigungsprozeß besteht entweder in einem einfachen Saigern, Ausschmelzen des Zinns aus den Verunreinigungen, und einem Polen, oder in einem Saigern, Schütteln und Polen des Rohzinns. Das Polen und das Schütteln des Zinns haben namentlich den Zweck, die Verunreinigungen des Metalls mit Luft möglichst viel in Berührung zu bringen, um sie in der Form von Oxyden von dem Zinnbade entfernen zu können.

Die Gewinnung von Zinn aus Weißblechabfällen geschieht sowohl auf nassem als auch auf elektrolytischem Wege. Die Entzinnungsanstalten verwenden bei der Elektrolyse in der Regel einen alkalischen Elektrolyten, und zwar einen solchen mit etwa 3,0—3,5 % Natron als Hydrat, während weitere 3—4 % Natron an Kohlensäure und an Zinnsäure gebunden im Elektrolyten enthalten sind. Der elektrolytischen Entzinnung wird jetzt durch das von K. Goldschmidt in eine technisch brauchbare Form gebrachte Verfahren der Entzinnung mit Chlorgas sehr starke Konkurrenz gemacht. Trockenes Chlorgas verbindet sich sehr energisch unter großer Wärmeentwicklung mit Zinn zu wasserfreiem Zinnchlorid, einer schweren, leichtbeweglichen, an der Luft außerordentlich stark rauchenden Flüssigkeit, die in der Seidenfärberei einen guten Absatz findet. Die entzinnten Abfälle gehen in die Betriebe der Eisenhütten zurück.

Der Bedarf der Stahlwerke an Wolfram ist sehr groß, und dementsprechend ist die Gewinnung dieses Metalls von großer Bedeutung. Die direkte Reduktion des Wolframs aus seinen Erzen ist nur dann möglich, wenn man Wolfram-Eisen-Legierungen herstellen will. Bei der Darstellung des Wolframs aus unreinen Erzen stellt man zunächst wolframsaures Natrium her und verwendet dieses dann als Ausgangs-

material für die Reinmetalldarstellung: man erhitzt das feingepulverte Wolframerz mit Sodazuschlag im Flammofen, ohne daß die Soda zum Schmelzen kommt. Das erhaltene Gut wird heiß mit Wasser gelaugt, die Lauge wird dann durch Eindampfen konzentriert, wobei sich die verunreinigenden Salze ausscheiden, und schließlich durch Abkühlen zur Kristallisation gebracht. Beim Eintragen der Kristalle oder der konzentrierten Wolframatlösung in Salzsäure scheidet sich schließlich die Wolframsäure als schweres gelbes Pulver ab, das durch reduzierendes Rösten in entsprechenden Öfen oder durch reduzierendes Schmelzen im elektrischen Ofen in Metall übergeführt wird. Am leichtesten erhält man jedoch das Wolfram nach dem Goldschmidtschen Thermitverfahren.

5. DAS VORKOMMEN DES BLEIES UND SILBERS UND IHRE GEWINNUNG

Blei und Silber sind fast überall zusammen zu finden. Zwar gibt es einige Bleierzlagerstätten, deren Silbergehalt so gering ist, daß sie im praktischen Sinne als reine Bleierzvorkommen benannt werden können, sehr selten sind aber Silbererze ohne Blei. Wie sich später zeigen wird, sind auch die hüttenmännischen Prozesse zur Gewinnung des Silbers sämtlich auf die Mitanwesenheit des Bleies begründet worden. Auf den Lagerstätten nimmt sehr häufig auch Zink an der „Paragenesis", dem gesetzmäßigen Zusammenvorkommen, teil, und zwar in Form von Zinkblende; recht häufig auch sind mit den Silberbleierzen außerdem noch Pyrit, Markasit, Kupferkies und Arsenkies vergesellschaftet. Durch die Aufbereitung sucht man diese, mindestens die sehr störende Zinkblende, vor der Verhüttung aus den Erzen zu entfernen.

Das am meisten verbreitete Blei- und zugleich Silbererz ist der Bleiglanz (PbS), im reinen Zustand mit 86,6 % Blei und einem Silbergehalt von 0,01—0,5, selten bis 1 %. Nur im Hut der Lagerstätten finden sich die sekundären Bleierze Cerussit oder Weißbleierz ($PbCO_3$) mit 77,6 % Pb, Anglesit ($PbSO_4$) mit 68,3 % Pb, Pyromorphit oder Braunbleierz $(PO_4)_3ClPb_5$ mit 76,2 % Pb u. a. Silberhaltig können neben Bleiglanz auch Pyrit, Kupferkies und Zinkblende sein. Eigentliche Silbererze sind gediegen Silber, Argentit oder Silberglanz (Ag_2S) mit 87,1 % Ag, die beiden Rotgiltig, Proustit (AsS_3Ag_3) und Pyrargyrit (SbS_3Ag_3) mit 65,5 und 59,8 % Ag, Polybasit, Stephanit und andere Schwefelantimonverbindungen des Silbers, Antimonfahlerz (Tetraëdrit) mit 1—17 und in den arsenfreien Varietäten selbst mit 32 % Ag, Silberhornerz (Clorargyrit, AgCl) mit 75,2 % Ag, sowie Brom- und Jodverbindungen des Silbers.

Die Weltproduktion von Blei belief sich im Jahre 1907 auf 984000 metrische Tonnen, von Silber auf 6217,3 t. (Statistik der Frankfurter Metallges., 15. Jahrg.)

Die Silber-Bleierzlagerstätten sind größtenteils gangförmig, häufig stockförmig (innerhalb von Kalkstein oder Dolomit), selten lagenförmig innerhalb sehr verschiedener Schichten.

Unter den Ganggebieten sind in Europa die bekanntesten diejenigen des Erzgebirges und des Harzes.

Die Erzgänge des Erzgebirges durchschneiden sehr verschiedene Nebengesteine, am häufigsten aber, und so namentlich auch bei Freiberg, den Gneis, der die Kernschichten des Gebirges bildet. Der altehrwürdige Bergbau bei dieser Stadt, der bis zum Jahre 1162 zurückgeführt werden kann, darf als typisches Beispiel ein wenig ausführlicher geschildert werden. Immer noch zwar sind eine stattliche Anzahl Schächte

auf den beiden großen fiskalischen Gruben Himmelfahrt dicht vor der Bergstadt und Himmelsfürst unweit des nahen Städtchens Brand in Betrieb, aber schon seit Jahren arbeitet man mit Verlust. Nur die beiden großen Hütten, Muldenhütten und Halsbrücke, die sich längst auf die Verarbeitung wesentlich ausländischer Erze eingerichtet haben, bringen dem Staate Gewinn.

Der Freiberger Bergbau bezog in früherer Zeit seine Erze von vier verschiedenen Gangtypen. Die sogenannten edlen Quarzgänge enthielten fein eingesprengt in Quarz und Hornstein wesentlich edle, das heißt sehr silberreiche Erze, reiche Bleiglanze, Blenden und eigentliche Silbererze. Noch baut im Norden der Stadt die Grube Alte Hoffnung Gottes auf solchen edlen Gängen und gab trotz der niedrigen Silberpreise noch bis vor kurzem ihren Gewerken Ausbeute.

Sehr mächtige Gänge, die aber jetzt völlig abgebaut sind, waren bei Halsbrücke die Träger des Silbers. Sie führten die Erze eingesprengt in Schwerspat, Kalkspat und Flußspat und wurden daher barytische genannt. Der Halsbrücker Spatgang schwoll stellenweise bis 6 m Mächtigkeit an. Er zeigte einen wundervoll feinlagenförmigen Aufbau, so daß hier die allmähliche Ausfüllung einer offenen Kluft durch Kruste auf Kruste thermaler Absätze sehr deutlich vor Augen trat. Auf Himmelsfürst baut man noch auf den sogenannten edlen Braunspatgängen, die neben Kalk-, Braun- und Manganspat edle Silbererze führen. Die Hauptgewinnung geschieht jedoch noch heute, wie immer schon, auf den sogenannten kiesig-blendigen Gängen. Hier findet sich Bleiglanz von 0,1—0,2% Silbergehalt, selten bis 0,5% und darüber, zusammen mit silberarmem Pyrit, mit Arsenkies und mit dunkler Zinkblende, die ebenfalls etwas Silber, bis 0,03%, enthält. Nur wenig Quarz nimmt an der Füllung dieser Spalten teil, die aber gewöhnlich zahlreiche Fragmente des zersetzten Gneises mit einschließen.



Abbildung 18. Freiberger Fahrkunst. (Nach H. Börner.)

Die meisten Freiberger Gänge stellen sehr steil geneigte, ungefähr plattenförmige Erzkörper dar, die gewöhnlich eine Dicke von 0,1—0,8, selten bis zu 2 m haben und vom Bergmann bis 650 m Tiefe teilweise abgebaut worden sind. Betrachtet man einen Grubenriß, auf dem die ausgehauenen Partien auf einer Gangfläche kenntlich gemacht sind, einen sogenannten flachen Riß oder Längsschnitt, durch einen solchen Gang, so sieht man, daß immerhin nur selten große geschlossene Gangabschnitte in ihrer ganzen Masse den Abbau gelohnt haben.

Bei Freiberg sind meist senkrechte Schächte in Anwendung, die im festen Gneis stehen. Von ihnen aus hat man in Abständen von 40—60 m nach den Gängen hin

zu deren Abbau horizontale Strecken, Gezeugstrecken („Galerien" in anderen Ländern) getrieben. Einzelne Schächte, wie der von Fremden viel besuchte Alte Elisabethschacht, sind direkt einem schräg geneigten Erzgang gefolgt (tonnlägiger Schacht). Zwischen den Gezeugstrecken stehen noch zahlreiche Durchschnittsschächte. Die Hauptschächte dienen gleichzeitig zur Fahrung, Förderung, Wasserhaltung und Wetterführung. In ihrem rechteckigen Querschnitt sind daher verschiedene Abteilungen (Schachttrümer) eingerichtet, und zwar gewöhnlich 1 Fahrtrum, 2 Fördertrümer, 1 Kunsttrum. Das Fahrtrum enthält die Fahrten (Leitern) von Bühne zu Bühne (Zwischenböden) oder die Fahrkunst. Letztere besteht aus zwei parallelen Gestängen, die durch eine Maschine entgegengesetzt um eine kleine Hubhöhe auf und nieder bewegt werden und in entsprechenden Abständen abwechselnd Trittbretter und Handgriffe tragen. Wie Abbildung 18 zeigt, steigt der fahrende Mann bei jedem durch die Totlagen der Kunstkurbel bedingten Stillstand nach dem Nachbargestänge hinüber. In den Fördertrümern hängen am Seil die ein oder zwei Stockwerke hohen Fördergestelle, die einmal die vollen Hunde (Erzwagen) aufnehmen, dann aber auch die ein- und ausfahrende Mannschaft (Abbildung 19). Das Fördergestell gleitet in den Schachtleitungen, und Sicherheitsvorrichtungen vermögen bei etwaigem Seilbruch Unheil zu verhüten, indem eiserne Fangklauen sich in die hölzernen Leitbäume eingraben. In der Abbildung 20 vom Schacht sieht man auf hohem eisernen Gerüst die Seilscheiben gespannt. Der Antrieb erfolgt durch starke Dampfmaschinen im benachbarten Treibehaus.



Abbildung 19. Fördergestell mit Mannschaftsfahrung. (Nach H. Börner.)

Die Gänge werden mittelst Firstenbaues abgebaut. Hierbei wird der zwischen zwei Gezeugstrecken befindliche Gangabschnitt von der unteren aus in Angriff genommen. Wenn der entstandene Hohlraum, Streckenstoß, eine gewisse Höhe, meist etwa 10 m, erreicht hat, wird seine obere



Abbild. 20. Reiche Zeche der Himmelfahrtfundgrube bei Freiberg. (Nach einer Photographie von K. Reimann in Freiberg.)



Abbildung 21. Die Schächte der Grube Himmelfahrt bei Freiberg. In der Mitte die Zentralwäsche. (Nach K. Reimann in Freiberg.)

Fläche, die Firste, mittelst quergestellter Hölzer (Kastenzimmerung) oder Mauerung (Tonnengewölbe) oder auch durch eiserne Schienen verwahrt, um als Basis eines höheren Streckenstoßes zu dienen, bis mit dem Deckelstoß die obere Gezeugstrecke erreicht ist. Alle Hohlräume werden mit den abfallenden Bergen (taubem Gestein) sofort wieder versetzt, nur alle etwa 20 m eine Rolle, ein kaminartiger Hohlraum zum Fördern von Massen aus den Firstenbauen nach den Strecken freigelassen. Unter ihre Mündungen werden hierzu vom Fördermann die Hunde geschoben, um gefüllt zu den Füllörtern (Umladeplätzen) an den Hauptschächten gestoßen zu werden. Zu letzterer Arbeit werden in den Gruben auch Pferde gehalten. Trotz des Versetzens der Grubenräume müssen, da fester Fels nach seiner Zertrümmerung viel mehr Raum einnimmt als vorher, noch gewaltige Massen taubes Gestein gefördert werden, wie die hohen Halden des Grubenbildes erkennen lassen. Im Landschaftsbild von Freibergs Umgebung nehmen diese Halden einen breiten Raum ein, als ehrwürdige Dokumente eines siebeneinhalb Jahrhunderte alten Bergbaues, der nun sein Ende finden wird.

Die Sprengarbeit der Häuer in den Firstenbauen und Strecken wird in Freiberg seit lange vielfach mittelst Bohrmaschinen eingeleitet. Die Abbildung 23 zeigt eine der einfachsten Formen einer solchen Maschine, einen Bohrhammer. Er wird durch Preßluft bewegt, seltener sind elektrisch angetriebene Maschinen in Gebrauch. Preßluft dient auch zum Betrieb von Lufthaspeln, die auf flach geneigten Gängen gewonnene Massen in Hunden an Seilen den Förderstrecken zuführen.



Abbildung 22. David Richtschacht und Zentralwäsche bei Freiberg. (Nach K. Reimann in Freiberg.)

Die den Gruben zusickernden Wasser werden größtenteils auf die Sohle des im Triebischtale oberhalb Meißens mündenden 31 km langen Rothschönberger Stollens gehoben, der mit seinen weiten Verzweigungen dicht bei Freiberg 200—250 m unter der Erdoberfläche hinführt. Die Pumpen werden größtenteils durch die Aufschlagwasser getrieben, die man mittelst eines sehr alten Talsperrensystems anstaut. Vielfach

sind Wassersäulenmaschinen in Gebrauch. Auch mittelst Preßluft, oder elektrisch angetriebene Pumpen sind eingefügt.

Noch ist ein Blick auf die Vorkehrungen zu werfen, mittelst welcher man die Erzmassen für die spätere Verhüttung vorbereitet, auf die Aufbereitung. Zu diesem Zwecke mag kurz das bei den Freiberger fiskalischen Gruben übliche Verfahren skizziert werden.



Abbildung 23. Preßluftbohrhammer auf der Grube Alte Hoffnung Gottes. (Nach K. Reimann in Freiberg.)

Schon vor Ort, d. h. am Arbeitsplatz des Häuers, wird durch Handscheidung erzreiches, armes und taubes Material getrennt. Die erzhaltigen Massen werden sodann nach der Förderung über Tage auf der Scheidebank mittelst des Scheidehammers zerschlagen und nach Art und Wert der Erze sortiert (Abbildung 24). Der reichste Teil kann sofort zur Hütte wandern. Die untereinander oder mit taubem Gestein verwachsenen Erze werden in Hunden zu der 1886 erbauten Zentralwäsche gefahren und mittelst Dampfhaspels nach dem obersten Stockwerk dieses vierstöckigen Gebäudes gehoben. Dort schüttet ein Wipper den Inhalt in die Eintragschuhe von Steinbrechern, zwischen deren durch eine Kurbel gegeneinandergepreßte Hartgußbacken die Bruchstücke zerkleinert werden. Ein Rätter (Schüttelsieb) trennt die für das Walzwerk geeigneten Körner ab. Zwischen den rotierenden Zylindern der Walzen, die abhebbare Hartgußmäntel haben, findet die weitere Zermalmung statt. Aus dem untersten, dem Feinwalzwerk, gelangen die Sande zunächst auf Setzmaschinen. Es sind das in Reihen aufgestellte, mit Wasser gefüllte Kästen mit zwei U-förmig verbundenen Abteilungen. In deren einer bewegt sich ein Kolben auf und ab, in der anderen ruhen auf einem Sieb die Erzkörner. Durch Kolbenhub geraten diese unter ihrer Wasserbedeckung in Bewegung und setzen sich so in Schichten auf dem Sieb nieder, daß die erzreichsten



Abbildung 24. Scheidebank auf Alte Hoffnung Gottes. (Nach einer Photographie von K. Reimann in Freiberg.)

die unterste Schicht bilden. Ein horizontaler Wasserstrom führt die oberen leichteren Lagen dem Nachbarkasten zu, dessen Sieb ein wenig tiefer steht. Am Ende findet sich auf dem Sieb des ersten Kastens fast reiner Bleiglanz, auf dem des letzten fast tauber Sand. Diese Scheidung ist jedoch nur für Körner bis 1 mm Durchmesser durchzuführen. Das feinere Material, die feinen Sande, die Mehle, Schlamme und die Trübe werden durch Pumpen nach den Spitzkästen gehoben. Diese sind aneinandergereihte Kästen von der Form umgekehrter Pyramiden. In diesen sondern sich die Teilchen nach ihren verschiedenen Fallgeschwindigkeiten im Wasser. Gleichzeitig fallen hier große und leichte und kleine, aber schwere Körner. Der zuführende Wasserstrom durcheilt die Oberflächen der Spitzkästen mit immer geringerer Geschwindigkeit. In den ersten tritt er stürmisch ein, den letzten durchfließt er ganz langsam, so daß im ersten gröbere Teilchen, im letzten die feinste Trübe Gelegenheit zum Absatz findet.



Abbildung 25. Ein alter Freiberger Stoßherd (Langstoßherd) auf der Grube Alte Hoffnung Gottes. (Nach K. Reimann.)

Aus den Spitzkästen läßt man die unten abgesetzten Teile ab und führt sie den Setzherden zu. Es sind jetzt nur Steinsche Planherde in Gebrauch, früher gewöhnliche Stoßherde (Abbild. 25). Jene bestehen aus einer sanft geneigten Ebene, die durch Querstöße bewegt wird. Auf der Ebene bewegt sich gleichzeitig über zwei Rollen eine Gummiplane. Die Trübe aus dem Spitzkasten fällt auf das obere Viertel der Plane, auf die anderen drei Viertel kommt reines Wasser hinzu. Die metallarmen Körner werden vom 1 mm tiefen Wasserstrom schneller fortgespült als wie die reicheren. In verstellbaren Kästen am unteren Herdrand kann man die verschiedenen Stufen dieser Klassierung als Verkaufsgut gesondert gewinnen, also reinen Bleiglanz, Schwefelkies mit Zinkblende und erzleeren feinsten Sand (Abbildung 26). Silberreichere Erze werden durch Trockenpochwerke zerkleinert. Es sind kalifornische Pochwerke in Gebrauch. Jede Batterie enthält 5 Stempel, die nacheinander gehoben und fallen gelassen werden.



Abbildung 26. Blick in die Zentralwäsche der Grube Himmelfahrt bei Freiberg. Ganz hinten links Setzmaschinen. Im Vordergrund Steinsche Planherde. Oben Spitzkästen. (Nach einer Photogr. von K. Reimann, Freiberg.)

Im Oberharz liegen die Verhältnisse in vieler Beziehung anders. Die Gänge der Gegend von Clausthal, Zellerfeld, Grund und Lautenthal, die nach dem Eingehen des Silberbergbaues von Andreasberg allein noch in Betrieb sind, setzen innerhalb von Tonschiefern, Kieselschiefern und Grauwacken des Devons und Kulms auf. Es sind typische zusammengesetzte Gänge, d. h. sie neigen sehr zur Verzweigung in spitzwinkelig abgehende Äste. Ein jeder Gang besteht aus zahlreichen solcher Einzeltrümer. Die Lagerstätten verhalten sich weit günstiger als die Freiberger. Zunächst sind die Mächtigkeiten der Erzmittel im allgemeinen viel größer. Auch sind gewöhnlich Zinkblende und Bleiglanz nicht so stark untereinander verwachsen, sondern räumlich ziemlich getrennt. Die Blende ist die braune, nicht die eisenreiche schwärzliche Blende wie zu Freiberg, macht ohnedies bei ihrem geringeren spezifischen Gewicht bei der Trennung vom Bleiglanz der Aufbereitung weniger Schwierigkeit. Als wesentlich Zinkbergbau ist der Bergbau auch wirtschaftlich von vornherein günstiger gestellt, denn die Zinkpreise sind höher und weniger schwankend.



Abbildung 27. Zentralwäsche von Clausthal im Harz. (Nach „Humboldt".)

Der vom Fiskus betriebene Clausthaler Bergbau ist ganz modern eingerichtet, besonders im Hinblick auf eine möglichst große Zentralisation der Krafterzeugung. Diese beruht wesentlich auf einer vorzüglichen, schon von alters her bestehenden Ausnutzung der natürlichen Wasserkräfte durch Talsperren und einem weitverzweigten System von Kunstgräben. Die gegen 70 Stauteiche des Harzes haben einen Inhalt von ungefähr 10 Millionen cbm und bedecken etwa 2,5 qkm Fläche. Elektrische Krafterzeugung und Übertragung wird im weitesten Maße angewandt. Kompressoreinrichtungen in größerer Tiefe der Schächte mittelst der Aufschlagwässer, die man auf die tiefen Stollensohlen fallen läßt, erzeugen die nach allen Arbeitsorten der Bergwerke hingeleitete Preßluft zum Betrieb der zahlreichen Bohrmaschinen. Ganz besonders hervorzuheben sind die neuen Anstalten zur Aufbereitung der Erze, so die große Zentralwäsche bei Clausthal vom Jahre 1905, die wir nach einigen Photographien ihres Erbauers, der Maschinenbauanstalt „Humboldt", zur Anschauung bringen. Sie verarbeitet die auf den Gängen des Rosenhofer Zuges und namentlich auch des Burgstädter Zuges mit dem großen modernen Schachte Kaiser Wilhelm II. gewonnenen Erze. Diese werden durch eine unterirdische elektrische Eisenbahn größtenteils nach dem Ottilienschacht geführt, in dessen Nähe die Anlagen sich befinden (Abbildung 27). Die zur Aufbereitung gelangenden Roherze enthalten 4—10 % Blei und 10—21 % Zink. Man teilt sie in zwei Gruppen, die

gleichzeitig in zwei vollständig getrennten Parallelsystemen zu hoch angereicherten Produkten verarbeitet werden.

Zum Betrieb der Anlage liefern Elektromotoren gegen 700 Pferdestärken.

Wegen der Neigung der sehr weichen Blende, Schlamm zu bilden, hütet man sich vor zu weitgehender Zerkleinerung und vermeidet Pochwerke ganz, wendet dafür bis zu 2,5 mm Korngröße Walzwerke, für noch feineres Korn dagegen Pendelmühlen an.

Die im Ottilienschacht geförderten Erze gelangen zunächst in mächtige Vorratstaschen und von hier zu den Steinbrechern, Klaubtischen, Walzwerken und Trommelsieben, die man hier an Stelle von Plansieben benutzt (Abbildung 28). Die schweren Zerkleinerungsmaschinen sind auf besonderen Betonklötzen fundamentiert, um die Erschütterung des Gebäudes zu vermeiden. Es folgen die Setzmaschinen (Abbildung 29) und endlich die Schlammwäsche (Abbildung 30). Hier wird die Trübe zunächst in Spitzkästen geleitet und sodann in die Herde verteilt. Als solche sind Humboldtsche Schüttelherde und Rundherde, wie sie Abbildung 30 zeigt, in Gebrauch.

Großartige Silber-Bleibergbaue gibt es innerhalb von Europa namentlich in Spanien. Wir erwähnen nur die berühmten Bleierzgänge von Linares im östlichen Teile der Sierra Morena und von Mazarrón in der Provinz Murcia. Auch Sardinien ist reich an bedeutenden Bleierzgängen.

Beispiele von Bergbauen auf eigentlichen Silbererzgängen sind in Europa sehr selten. Wir erwähnen hier nur Kongsberg in Norwegen mit seinen großen Klumpen von gediegen Silber, auch Andreasberg im Harz mit Rotgiltig und anderen edlen

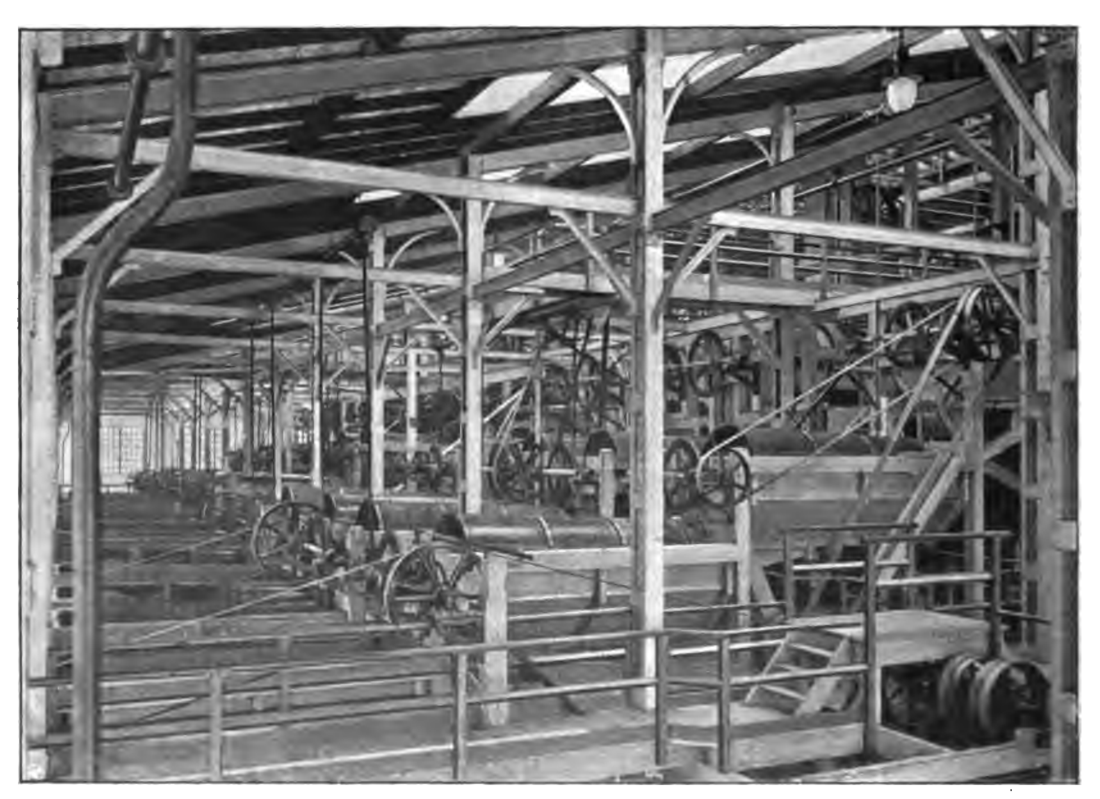


Abbildung 28. Siebtrommelstockwerk in der Clausthaler Zentralwäsche. (Nach „Humboldt".)



Abbildung 29. Setzwäsche. (Nach „Humboldt".)

Silbererzen in Begleitung von Kalkspat. Zahlreich dagegen sind eigentliche Silbererzgänge in den beiden Amerika. Unermeßliche Reichtümer haben die spanischen Staaten Südamerikas aus den dortigen Silbererzbergwerken gezogen. Unter den äußerst trockenen Klimaten, wie sie in vielen Hochländern dieses Kontinents herrschen, pflegt sich der in der Tiefe mehr gleichmäßig verteilte Silbergehalt solcher Gänge in deren Hut sehr stark zu konzentrieren, vielfach in der Form von Hornsilber, weil die sonst leicht löslichen Chlor-, Brom- und Jodverbindungen des Metalls hier, wo es selten regnet, nur wenig ausgelaugt und fortgeführt werden können. So überraschten Europa zum Schaden von dessen altem Bergbau auf Silber noch in neuerer Zeit mehrere neu entdeckte Silbererzganggebiete in der jetzt zu Chile gehörigen Wüste Atacama durch ihre fabelhaft reichen Anbrüche im Hut. Auch unmittelbar unter dem Hut, in der sogenannten Zementationszone, wo namentlich die Bedingungen für die Bildung von Rotgiltig und andere edle Silbererze günstig sind, hielten diese Reichtümer an. Von 1832 ab erfüllte Chañarcillo die Welt mit seinem Ruhm, das unter anderem die herrlichsten Kristalle von Rotgiltig lieferte; 1870 wurde Caracoles fündig, das in seinen besten Jahren 120 t Silber erzeugte. In Peru ist immer noch der Cerro de Pasco von Bedeutung, der von 1630 bis 1894 für 565 Millionen Dollar Erz geliefert hat. In Bolivien spielte früher eine ähnliche Rolle der Cerro de Potosí.

Jetzt steht an der Spitze der Weltproduktion von Silber Mexiko, dessen Silbererzeugung 1907 mit 1901,9 t selbst noch die Vereinigten Staaten von Nordamerika, die 1757,8 t erzielten, geschlagen hat, 1903 aber sogar mit 2193,2 t den Weltrekord

errungen hatte. Seit 1899 hat die jährliche Produktion dieses silberreichsten aller Länder der Erde niemals unter 1700 t betragen. Demgegenüber müssen die europäischen Bergwerke mit ihrer Gesamterzeugung von 400—500 t Silber völlig verschwinden (Statistik der Frankfurter Metallges., 1909). Dieselbe Silbermenge, die ein so ausgebreiteter Bergbau wie der Freiberger in sieben Jahrhunderten der Erde abgerungen hat, fällt diesem Lande zur Zeit innerhalb von drei Jahren in den Schoß. Zu den berühmtesten Gängen des Landes gehören die von Guanajuato, Zacatecas, Fresnillo, Pachuca und Real del Monte. Schon die Azteken hatten mit ihren Steingeräten und mit Hilfe des Feuers die Erze zu gewinnen verstanden. Mit der Eroberung durch die Spanier setzte eine energische Ausbeutung durch geübte Bergleute des Mutterlandes ein, und das so vorzüglich regierte moderne Mexiko hat sich alle Vorteile der Bergbautechnik der Neuzeit zu eigen gemacht. Eine Eigenschaft der meisten Silbererzgänge Mexikos, daneben noch einen beträchtlichen Goldgehalt zu führen, findet sich auch bei zahlreichen Gangvorkommen der Vereinigten Staaten wieder.

Einen großen Einfluß auf die Entwicklung der Bergbautechnik hat hier namentlich der berühmte Comstockgang im Washoedistrikt am östlichen Gehänge der Sierra Nevada veranlaßt. Er lieferte von 1859—1889 4820 t Silber und 214 t Gold, in der Tat für einen einzigen Gang eine gewaltige Menge, auf relativ kleinen Raum zusammengedrängt „die größte Anhäufung von Edelmetall, auf welche jemals der Mensch die Hand gelegt hat" (Ed. Suess). Der Gang wurde schon 1857 entdeckt, aber erst 1859 zu bearbeiten begonnen. Aber schon ein paar Jahre später befanden sich in der ehemaligen Wüstenei drei stattliche Städte, Virginia City, Silver City und Gold Hill. Tiefer und tiefer drangen die Bergleute vor. Zuletzt litten sie unter äußerst starker Temperaturerhöhung in den Gruben, bis endlich gar 1877 im Savage-Schacht in 900 m Tiefe eine heiße Quelle angehauen wurde, die den weiteren Tiefbauten ein vorläufiges Ende setzte. Innerhalb von nur 25 Jahren war es hier gelungen, mit allen Hilfsmitteln der modernen Technik einen 60—100 m mächtigen Erzgang bis zu 800—1000 m Tiefe abzubauen. Neuerdings haben die Arbeiten wieder einen Aufschwung genommen, seitdem die Wasserkraft des Truckeeflusses zur Errichtung einer elektrischen Zentrale benutzt und diese Kraft 35 km weit dem Comstockgebiet zugeleitet werden konnte.

Gegenüber den Gängen sind lagerartige Ansammlungen von Blei- und Silbererzen nur sehr spärlich zu finden.

Ein Beispiel für Bleierzlager bildet das Vorkommen von Mechernich und Call unweit Commern an der Eifel. Hier enthalten gewisse Bänke des dem Devon aufgelagerten Buntsandsteines so viele 1—3 mm große Bleiglanzknollen eingestreut, daß es sich lohnte, diese nach dem Zermalmen des Gesteins herauszuwaschen. Der durchschnittliche Bleigehalt der Sandsteinflöze beträgt immerhin nur 1,5—2%, der Silbergehalt gar nur 1—6 g pro t. Gegenüber diesen armen Erzen mag ein sehr reiches Vorkommen lagerartig entwickelter Silber-Bleierze gestellt werden, dasjenige von Brokenhill im australischen Neusüdwales.

Die Geschichte des Bergbaues von Brokenhill ist ein ausgezeichnetes Beispiel dafür, wie die moderne Technik auch die größte Ungunst des Klimas, der Zugänglichkeit und Bewohnbarkeit einer Gegend zu überwinden weiß, wenn die aufgewandte Mühe sich nur genügend bezahlt macht. Brokenhill liegt in einer höchst wasserarmen, fast baumlosen, nur mit elendem Salzbusch bestandenen Gegend im Barriergebirge nördlich vom unteren Murray. Das durchschnittlich 18, stellenweise bis 30 m



Abbildung 30. Rundherde. (Nach „Humboldt".)

mächtige Erzlager ist steil aufgerichteten Gneisen und granatreichen kristallinen Schiefern zwischengeschaltet. Als ein schmaler felsiger Hügelzug erschien es in seinem Ausstrich, der auf 2,4 km Entfernung verfolgt werden konnte. Anfangs lohnte dieses Riff, das oberflächlich wesentlich aus kieseligem und manganhaltigem Eisenstein bestand, die Mühe des Schürfers nur wenig. Aber unter der unscheinbaren Kruste stieß man in geringer Tiefe längs der ganzen Ausstrichlinie auf fabelhaft reiche Kupfer-, Blei- und Silbererze. Selbst das zersetzte Nebengestein zu beiden Seiten des Erzkörpers erwies sich reich mit Chlor-, Brom- und Jodsilber imprägniert oder umschloß Nester von gediegen Silber. Noch etwas tiefer folgte eine Zone mit reichen sulfidischen Silbererzen, die zuweilen 7—8 kg Silber pro t Erz enthielten. Damals gewann man in 8 Schächten pro Tag durchschnittlich 1000 t Erz mit rund 1 t Silber und 150 t Blei. Alles das waren Konzentrationen, die sich unter dem Einfluß der Atmosphärilien gebildet hatten. Endlich folgte indessen der Erzkörper in seiner ursprünglichen Zusammensetzung, die allerdings der Metallurgie zunächst viel Schwierigkeiten bereiten sollte. Dieses in gewaltigen Mengen vorhandene Erz besteht nämlich aus einem innigen körnig-kristallinen Gemenge von silberhaltigem Bleiglanz und von Zinkblende, wozu sich etwas Quarz, Flußspat und wunderlicherweise auch Granat und Rhodonit gesellen. Die großen Schwierigkeiten der Trennung von Bleiglanz und Zinkblende vor der Verhüttung wurden schließlich doch überwunden, und zwar mittelst magnetischer Separation. So vermögen in neuerer Zeit die beiden größten Hütten dort, die der Brokenhill Proprietary Co. und die der Sulphide Corporation, zusammen jährlich gegen 90000 t Rohblei zu erzeugen. Die erstgenannte Gesellschaft gewann



Abbildung 31. Proprietary Mine in Brokenhill.

daneben z. B. im Jahre 1905 gegen 156 t Silber. Schon arbeitet man in etwa 350 m Tiefe, ohne daß ein Nachlassen dieser enormen Schätze zu beobachten ist. Seit dem Fündigwerden im Jahre 1883 ist in der ehemaligen Wüstenei eins der großartigsten metallurgischen Industriegebiete herangewachsen. Bereits 1887 wurde die neue Bergstadt durch eine Eisenbahn mit Adelaide verbunden. Sehr schwierig gestaltete sich die Wasserversorgung der Gegend, sehr kostspielig die Zimmerung in den weiten unterirdischen Abbauen, da das Holz aus Nordamerika herzugeschafft werden mußte, weil Australien keine geeigneten Holzarten hervorbringt. Hierzu kamen die schwierigen Arbeiterverhältnisse der Kolonie, die bisweilen gefährliche Krisen herbeiführten.

Die obenstehende Abbildung 31 gibt die Hauptgrube von Brokenhill nach einer Photographie vom Jahre 1895 wieder.

Was die vorhin erwähnte elektromagnetische Behandlung der Erze von Brokenhill anlangt, so ist das ein Beispiel einer jetzt sehr weitverbreiteten Art der Aufbereitung sehr verschiedenartiger Erze. Von Natur sind nur wenige Mineralien, von Erzen nur der Magneteisenstein und die meisten Magnetkiese so stark magnetisch, daß sie vom Stahlmagneten angezogen werden. Durch Rösten aber kann man auch Schwefelkies, Arsenkies und Spateisenstein für solche Zwecke genügend magnetisch machen. Eine weitgehende Anwendung magnetischer Aufbereitung begann aber erst seit dem Ausbau der Starkstromtechnik sich zu entwickeln. Hierdurch vermochte man auch nacheinander aus einem Gemisch Erze von verschieden starker magnetischer Eigenschaft für sich herauszuziehen, indem man mehrere verschieden starke magnetische Felder wirken ließ. Man trennt so nicht nur Zinkblende und Bleiglanz, wie zu Brokenhill, sondern auch Zinkblende und Schwerspat, Kupferkies und Spat-

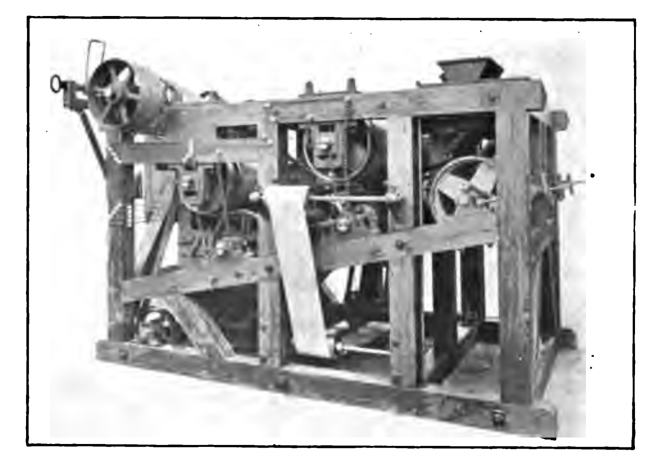


Abb. 32. Humboldtscher Tandemseparator. (Nach „Humboldt".)

eisenstein, Franklinit, Rotzinkerz und Willemit und so fort. Den ersten elektromagnetisch betriebenen, Trieuse genannten Apparat benutzte 1855 Sella, um zu Traversella in Piemont Magneteisenerz von Schwefel- und Kupferkies zu trennen. Der erste Starkstromapparat war derjenige von Wetherill. Bei allen ähnlichen Vorrichtungen wird gewöhnlich das bis zu gleichmäßig feiner Korngröße zerkleinerte Gut auf einem Bande ohne Ende an dem magnetischen Feld vorübergeführt, das durch mehrere Elektromagnete gebildet wird. Wir geben das Bild (Abbildung 32) des von der Maschinenbauanstalt „Humboldt" in Kalk ausgeführten Tandemseparators, eines trocken arbeitenden Apparats. Hier wird das Gut gleichmäßig auf zwei breite Gummitransportbänder aufgetragen und durch zwei oder auch mehrere hintereinander angeordnete, hochkonzentrierte magnetische Felder geführt. Oberhalb des Bandes ist eine im Sinne der Transportrichtung rotierende magnetisch stark erregte Trommel angebracht, die das magnetische Material heraushebt. Diese Trommel befördert das abgehobene Gut auf ein Quertransportband, das es seitlich austrägt.

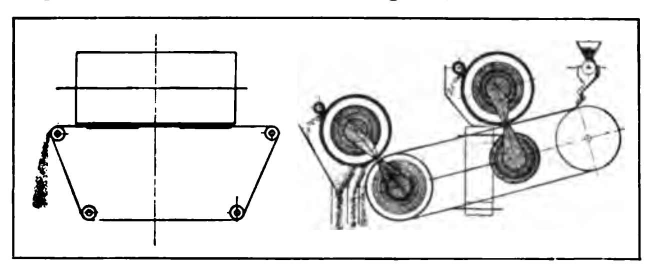


Abbildung 33. Humboldtsche schematische Figur.

DIE SILBER-BLEI-GEWINNUNGSARTEN. Die Bleigewinnungsprozesse haben im Laufe des letzten Jahrzehnts eine gewaltige Umgestaltung erfahren. Das Niederschlagsverfahren, bei dem man das Blei aus dem Schwefelblei durch Zerlegung desselben mit Hilfe von Eisen als Metall zur Abscheidung bringt, ist als selbständiger Gewinnungsprozeß fast vollständig aus dem Hüttenbetrieb verschwunden. Das Röst-Reaktionsverfahren, bei dem der Bleiglanz in der Weise zugute gemacht wird, daß man einen Teil desselben durch Abröstung in Bleioxyd und Bleisulfat überführt und diese Bleiverbindungen auf unzersetztes Bleisulfid einwirken läßt, wobei das Blei metallisch abgeschieden wird und der Schwefel in Form von schwefliger Säure den Ofen verläßt, ist nur noch auf wenigen Hütten in Anwendung. Dagegen ist das Röst-Reduktionsverfahren, bei dem die Erze nach vorangegangener, möglichst vollständig durchgeführter Röstung unter Zuschlag von Flußmitteln reduzierend auf Blei verschmolzen werden, überall zu einer außerordentlichen Vervollkommnung gebracht worden.

In der gegenwärtigen Ausführung des Röstprozesses liegt nun der Hauptfortschritt dieses Bleigewinnungsverfahrens. Bis vor einem Jahrzehnt wurde die Röstung in fast ausschließlich von Menschenhand bedienten Flammöfen, sogenannten Fortschaufelungsöfen, ausgeführt. In einem langgestreckten Röstofen wurden die Bleierze von dem kältesten Ende des Ofens aus dem Strome der von einer Rostfeuerung entwickelten Feuergase entgegen allmählich nach der Feuerbrücke unter andauerndem Durcharbeiten und Durchkrählen fortgeschaufelt, wobei die Abröstung des Erzes vor sich ging.

Viel billiger, viel vollkommener ist der Röstbetrieb jedoch geworden, seit an Stelle des Röstens im Flammofen das Verblasen der Bleierze im Konverter eingeführt worden ist. Es ist das große Verdienst von Huntington und Heberlein, dieses Verfahren ausfindig gemacht zu haben, das neben vorzüglicher Abröstung eine bedeutende Herabsetzung der Röstkosten und des Brennstoffaufwandes mit sich brachte. Das Verfahren, kurz als H.-H.-Verfahren bezeichnet, ist in allen Kulturstaaten paten-

tiert und mit großem Erfolg in Anwendung. Naturgemäß folgten diesem ersten Verblaseprozeß bald eine Reihe anderer Vorschläge für das Verblasen von Bleierzen, die zum Teil auch patentiert und praktisch ausgeführt worden sind.

Der Grundgedanke aller dieser Verfahren ist der, die Röstung im Flammofen, bei der das Erz nur durch öfteres Durcharbeiten und Durchkrählen mit dem Sauerstoff der darüberstreichenden Luft, die die Abröstung bewirkt, in Berührung kommt, durch ein Verfahren zu ersetzen, bei dem durch ein Einblasen der Luft in das Erz die Berührung zwischen dem zu oxydierenden Material und der Luft eine innigere wird und die Reaktionen des Röstprozesses dementsprechend lebhafter stattfinden, so daß eine Zuführung von Wärme von außen überflüssig wird. Da nun aber das Schwefelblei leicht schmelzbar ist, so würde es bei der nun auftretenden Hitzeentwicklung zum Schmelzen kommen, wodurch eine weitere Abröstung der Massen, da die Luft nicht mehr in das Innere derselben eindringen kann, verhindert werden würde. Es gilt nun, die allzu große Wärmeentwicklung herabzusetzen und einem vorzeitigen Zusammenschmelzen der Massen vorzubeugen. Das letztere kann naturgemäß durch Einmischen eines indifferenten Körpers in das Erz geschehen, der die einzelnen Erzteilchen voneinander trennt, selbst nicht schmilzt und so die Masse locker und luftdurchlässig erhält. In diesem Sinne wirken Zuschläge wie Kalk, Eisenoxyd, Manganoxyd usw. zum Erz. Der durch die Reaktionen beim Verblaseprozeß entstehende Wärmeüberschuß kann sodann durch Erzeugung von chemischen Reaktionen, die Wärme verbrauchen, im Konverter beseitigt werden. So erfordert der Kalkstein zu seiner Zerlegung und zu seiner Verschlackung Wärme, die dem Verblaseprozeß entzogen wird, und das Wasser, mit dem man das Erz absichtlich anfeuchtet, verbraucht bei seiner Verdampfung ebenfalls Wärme. Endlich kann man noch durch verschiedene andere Hilfsmittel der Entwicklung einer zu großen Wärmemenge beim Verblaseprozeß entgegenarbeiten. Man kann, um die Reaktionen zu verlangsamen, wie dies Savelsberg vorgeschlagen hat, anstatt Luft einen sauerstoffarmen Wind, welchen man sich durch Überleiten von Luft über glühende Kohlen erzeugt hat, einblasen; man kann auch einen Teil des Schwefels der Beschickung durch eine Vorröstung beseitigen sowie einen Teil desselben durch Erzeugung von Sulfaten, wie Kalziumsulfat und Bleisulfat, in eine Form überführen, die beim Konverterprozeß nicht bloß keine Wärme erzeugt,



Abbildung 34 Röstanlage der Braubacher Silberhütte. Anlage mit kleinen Konvertern.

sondern sogar Wärme verbraucht. Ob und welches von diesen Hilfsmitteln man in jedem einzelnen Falle anwendet, nach welchem Verfahren man arbeitet, wird außer von lokalen Verhältnissen im wesentlichen von der Art des Erzes abhängen. Beim H.-H.-Verfahren, das das gebräuchlichste von diesen Verblaseverfahren ist, wird das Erz mit einer entsprechenden vom Schwefel- und Basengehalt des Erzes abhängigen Menge von gemahlenem Kalkstein, gegebenenfalls unter Zuschlag einer entsprechenden Menge Kieselsäure, sofern dieselbe im Erz nicht in genügender Menge vorhanden ist, in geeigneten Mischapparaten gemischt und einem Röstofen für die Vorröstung, einem sogenannten Tellerofen, von entsprechenden Dimensionen zugeführt. Dieser Ofen, ein runder Flammofen, besitzt einen um seine Achse drehbaren tellerförmigen Herd, dessen Antrieb von einem Motor aus durch Zahnräder oder durch eine Gallsche Kette erfolgt. Das ungefähr auf die Mitte des Herdes durch einen Trichter aufgegebene Beschickungsmaterial wird nun von da aus, während der Herd seine Umdrehungen macht, allmählich durch feststehende schräggestellte Krähle nach außen geschoben, so daß es um die Mitte des Tellers einen spiralförmigen Weg zurücklegt. Am Rande des Herdes wird es dann durch eingelegte Flacheisen ausgetragen. Man gibt in die Verblaseapparate ein Drittel der Masse in glühendem Zustande, während die übrigen zwei Drittel nach erfolgter Ablöschung mit Wasser in den Konverter (Abbildungen 34 und 35) eingefüllt werden. Neuerdings löscht man das gesamte Material von der Vorröstung mit Wasser ab und gibt es dann allmählich unter gleichzeitigem Einblasen von Wind in den Konverter, auf dessen Boden man einige Schaufeln glühende Kohle gebracht hat. Die kleinere Art dieser Apparate sind konische fahrbare Gefäße, die am Boden einen Stutzen besitzen, über den ein durchlochtes Blech gelegt wird. An denselben wird dicht schließend die Windleitung angeschlossen, so daß der Wind durch ihn in den Konverter gelangt und durch das Sieb gleichmäßig in der Masse des Erzes verteilt wird. Über dem Konverter befindet sich ein konischer Blechabzug mit Gasabführungsrohr, durch das die Gase nach der Esse oder der Schwefelsäurefabrik geführt werden. Unter dem Einfluß des eingeblasenen Windes schreitet der Röstprozeß allmählich durch den Konverter von unten nach oben fort.



Abbildung 35. Röstanlage der Braubacher Silberhütte. Anlage mit großen Konvertern.

In größeren Hüttenwerken verwendet man anstatt der beschriebenen kleinen Konverter solche mit 10 bis 15 t Fassungsraum. Diese besitzen die Form von Kesseln; sie sind mit dem erforderlichen Anschlußstutzen für die Windzuführung versehen und sind drehbar mehrere Meter über der Hüttensohle aufgehängt. Unten im Kessel befindet sich ebenfalls ein durchlochtes Blech zur gleichmäßigen Verteilung des eingeblasenen Windes. Durch Kippen werden die Kessel nach beendigter Röstung entleert; die Massen stürzen herab und werden dadurch etwas vorzerkleinert. Das Röstgut hat eine poröse Beschaffenheit und ist dadurch für die nachfolgende Reduktion

des Bleioxyds, in welcher Form das Blei in der Masse nun im wesentlichen enthalten ist, im Schachtofen vorzüglich geeignet.

Eine weitere Verbesserung der Bleierzröstung ist dadurch geschaffen worden, daß man in neuester Zeit die Oxydationsluft nicht mehr durch die Erzmasse hindurchbläst, sondern daß man sie durch dieselbe hindurchsaugt. Bei den sogenannten Sinterungsmaschinen für den Dwight-Lloyd-Sinterprozeß wird eine dünne Erzlage auf einem Rost, der sich auf einer Trommel, einem Bande ohne Ende oder einer horizontalen kreisförmigen Tafel befindet, ausgebreitet; man schiebt den so gebildeten Erzstreifen unter einen Zünder, der rechtwinklig zu dem Rost gestellt ist und durch den das Erz zum Brennen gebracht wird, und dann über eine Saugbüchse, die durch abwärtsziehenden Zug ein Fortschreiten des an der Oberfläche begonnenen Röstens nach innen zu bewirkt. Die Röstung ist beendet, wenn das Erz das andere Ende der Büchse überschreitet. Schließlich wird das gesinterte Erz automatisch von dem sich weiterbewegenden Rost in einer Größe, die für die Verarbeitung des Röstgutes im Schachtofen geeignet ist, abgehoben. Frh. v. Schlippenbach führt nun die bei der Röstung in derartigen Apparaten entstehenden Gase mit Hilfe geeigneter Vorrichtungen aus dem Apparat in zwei getrennten Strömen, einem an schwefliger Säure reichen, der während der Hauptröstperiode entsteht und für die Schwefelsäurefabrikation geeignet ist, und einem zweiten an schwefliger Säure armen, der durch die Hüttenesse in das Freie gelassen werden kann, ab, und macht so die Hauptmenge der entstehenden Röstgase unschädlich unter gleichzeitiger Verwertung derselben zur Darstellung von Schwefelsäure.

Das Röstgut wird in der gleichen Weise wie das der Flammöfen im Schachtofen mit Koks, eisen- und kalkhaltigen Zuschlägen sowie mit Flußmitteln reduzierend verschmolzen, um das Blei als Metall zur Abscheidung zu bringen, das etwa in gewinnbarer Menge vorhandene Kupfer in einen Stein überzuführen, die vorhandenen Edelmetalle im Blei anzusammeln und alle übrigen Körper der Beschickung zu verschlacken oder zu verflüchtigen. Die neueren, auf den europäischen Bleihütten verwendeten Schachtöfen zum Bleierzschmelzen haben im allgemeinen kreisförmigen Horizontalquerschnitt. Sie sind alle aus dem im Jahre 1867 auf den sächsischen Hütten bei Freiberg aufgestellten Rundschachtofen von Pilz hervorgegangen. Dieser Ofen (Abbildung 36) ist dann Ende der neunziger Jahre von Kochinke vergrößert und mit besseren Vorrichtungen für die Abführung der beim Abstechen entstehenden Bleidämpfe und Gase versehen worden. Er besitzt jetzt eine Höhe von ungefähr 8,5 m und einen Durchmesser von 2,0 m in der Formebene und 2,5 m an der Gicht. Der Ofen ist mit Tiegelofenzustellung versehen. Die Schmelzzone wird durch einen Ring von zwanzig Kühlkästen, das sind gußeiserne oder schmiedeeiserne Kästen, in denen Wasser zirkuliert, gebildet. In Amerika gibt man für die Bleischmelzerei dem viereckigen Ofen, der sich aus dem ursprünglich im Harz angewendeten Raschetteofen entwickelt hat, den Vorzug. Die modernen Öfen dieser Art sind fast sämtlich zum Teil als Wassermantelöfen gebaut, ähnlich denen, wie sie bei der Kupferschmelzerei verwendet werden (Abbildung 37). Das gebräuchlichste Maß dieser Öfen ist $1{,}05 \times 3{,}05$ m in der Formebene.

Die bei dem Schmelzprozeß fallenden Schlacken werden abgesetzt, als wertlos auf die Halde abgestürzt. Der Stein, der neben Blei und Eisen noch Kupfer enthält, wird abwechselnd abgeröstet und für sich verschmolzen und dadurch im Kupfergehalt so weit angereichert, daß er den Kupfergewinnungsprozessen überwiesen werden kann. Das Werkblei, das Rohblei, das beim Schmelzprozeß fällt, enthält außer den Edel-

metallen noch eine große Menge Verunreinigungen, namentlich Kupfer, Zinn, Arsen, Antimon und Wismut. Ist der Kupfergehalt des Bleies erheblich, so entfernt man ihn durch Saigerung, durch Ausschmelzen des reinen Bleies aus der schwerer schmelzbaren und daher ungeschmolzen bleibenden Kupfer-Blei-Legierung. Geringe Kupfermengen dagegen gehen in die beim Einschmelzen des Bleies entstehenden oxydischen Produkte. Das Zinn, Arsen und Antimon entfernt man durch Oxydationsprozesse, indem man auf das Bleibad Luft aufbläst. Sie oxydieren sich leichter als das Blei und sammeln sich als oxydische Produkte auf dem Bleibad an und können von diesem durch Abstreichen oder Abziehen entfernt werden.

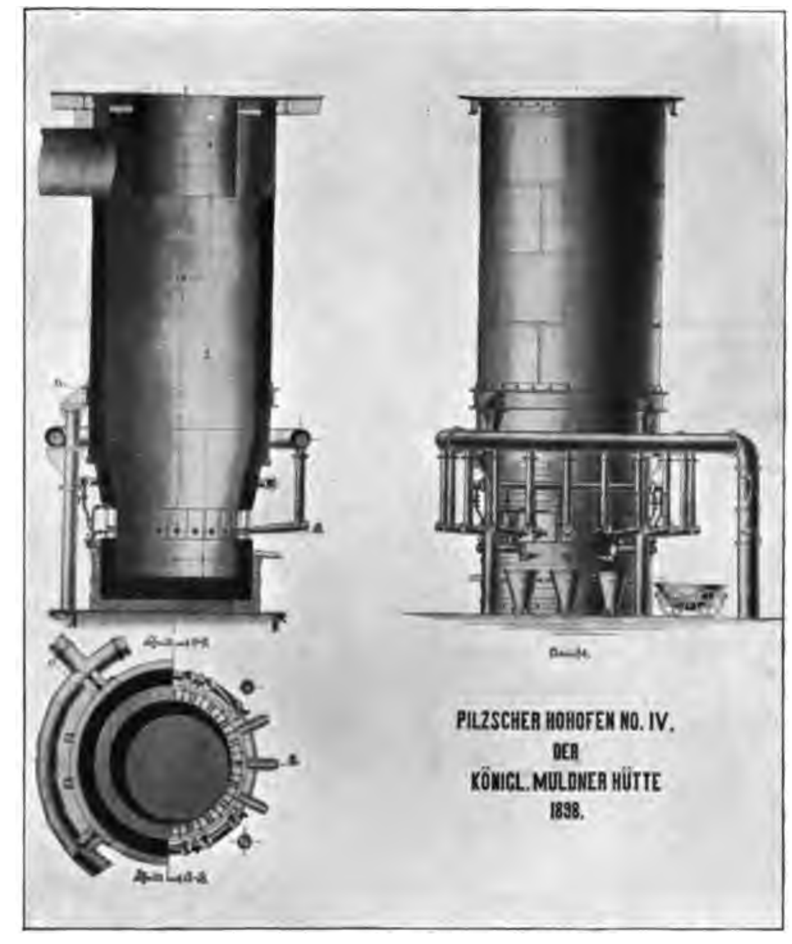


Abbildung 36. Pilzscher Hochofen der Königl. Muldner Hütte.
(Mit Genehmigung des Herrn Oberbergrats Kochinke zu Freiberg.)

Die Trennung der Edelmetalle vom Blei geschieht durch den sogenannten Treibeprozeß, einen Oxydationsprozeß, bei dem das Blei durch Aufblasen von Wind in Bleioxyd, das auf dem Bade schwimmt, übergeführt und als solches von dem Silber, das sich immer mehr und mehr in der zurückbleibenden Legierung anreichert, getrennt wird. Dieser Prozeß ist nur dann ökonomisch mit Vorteil auszuführen, wenn der Silbergehalt nicht unter eine von lokalen Verhältnissen abhängige Grenze herabgeht.

Um aus silberärmeren Bleien das Silber gewinnen zu können, muß man durch Entsilberungs- bzw. Anreicherungsprozesse den Edelmetallgehalt in einer kleinen Menge des Bleies ansammeln, während man den Hauptteil desselben dabei als silberfreies Blei erhält, das in den Handel gegeben werden kann. Dieses Ziel läßt sich durch zwei verschiedene Prozesse erreichen, durch den sogenannten Pattinsonprozeß und durch die Zinkentsilberung, nach ihrem Erfinder auch Parkesprozeß genannt. Von diesen beiden Prozessen ist der ältere, der Pattinsonprozeß, von der wesentlich billigeren Zinkentsilberung allmählich verdrängt worden. Der Pattinsonprozeß (Abbildung 38) beruht darauf, daß, wenn man ein silberhaltiges Bleibad abkühlen läßt,

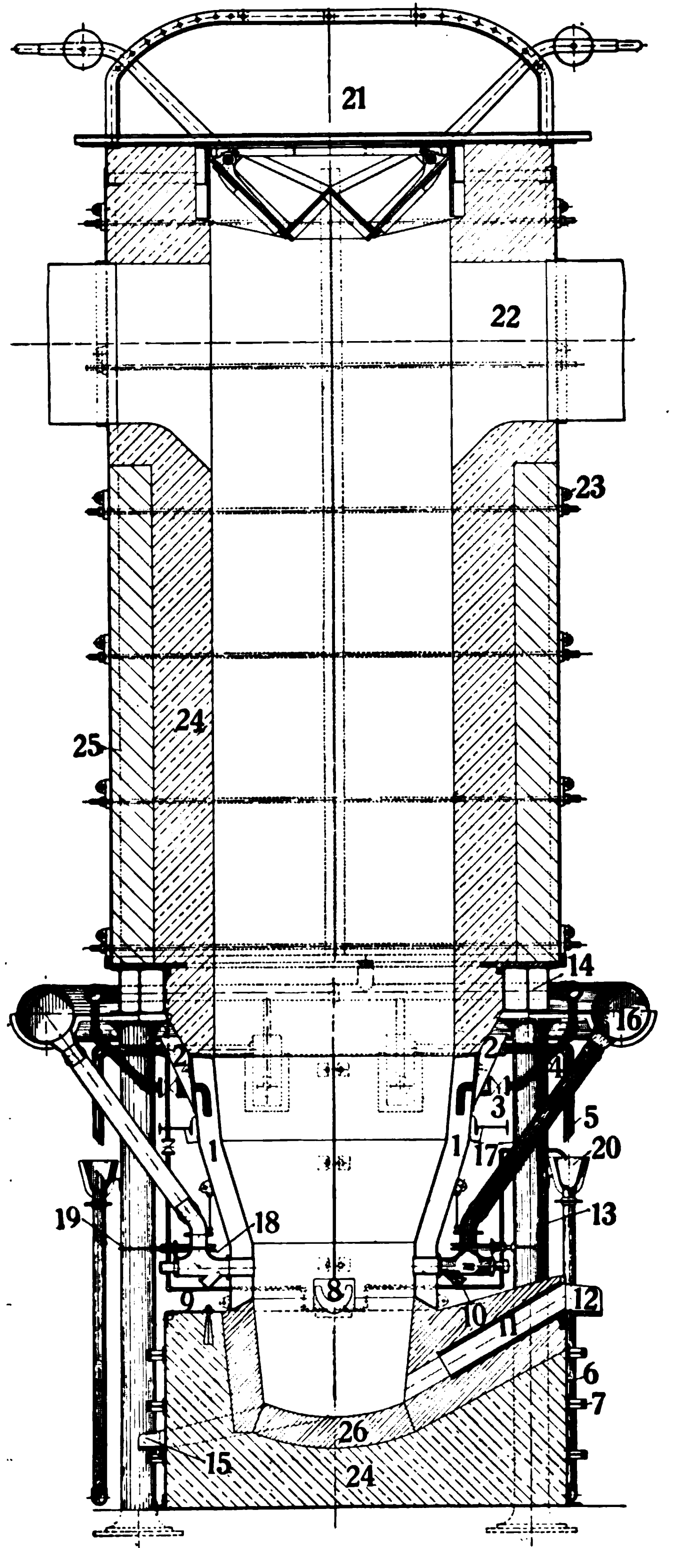


Abbildung 37.

BLEISCHACHTOFEN

100 t Leistung

gebaut

von der

Maschinenbauanstalt „Humboldt"

Kalk-Köln.

1. Wassermantel
2. Überlaufstutzen
3. Kaltwasser-Regulierhahn
4. Kaltwasserzulauf
5. Warmwasserablauf
6. Schmiedeeiserner Herdkasten
7. Herdverankerung
8. Gekühlter Schlackenstich
9. Wasserzulauf für Schlackenrinne
10. Wasserablauf für Schlackenrinne
11. Bleisiphon
12. Bleiüberlauf
13. Tragsäulen für den Ofenschacht
14. Tragrahmen für den Ofenschacht
15. Reservebleiabstich
16. Windhauptleitung
17. Windverteilungsleitungen
18. Winddüse mit Schlackenstutzen
19. Windregulierschieber
20. Warmwassersammelrinne
21. Selbsttätiger Gichtverschluß
22. Gasabzugleitungen
23. Schachtverankerung
24. Ausmauerung in Dolomit
25. Ausmauerung in Ziegeln
26. Ausmauerung in Magnesit.

Tafel VII.



Gesamtansicht der Muldener Hütte.

Zu Beck und Hoffmann: Die technisch wichtigen Metalle und die Gewinnung ihrer Erze

Nach dem Ölgemälde von P. Mißbach im Korpshaus Teutonia zu Freiberg.



sich silberärmere Kristalle aus demselben ausscheiden, während sich das Silber in der Mutterlauge anreichert. Die Zinkentsilberung (Abbildung 38 u. 39) nutzt die Erscheinung aus, daß das geschmolzene Blei nur eine von der im Bade herrschenden Temperatur abhängige beschränkte Menge Zink aufzunehmen vermag, daß also ein bei höherer Temperatur mit Zink gesättigtes Bleibad bei der Abkühlung Zink abscheidet, und daß sodann in dieses sich abscheidende Zink das im Blei enthaltende Edelmetall übergeht. Es wird also durch diesen Prozeß das silberhaltige Blei in ein edelmetallfreies, nur wenig Zink enthaltendes Blei und in eine Blei-Silber-Gold-Zink-Legierung, den Zinkschaum, der neben den Metallen auch Oxyde des Zinks und Bleies enthält, geschieden. Das Armblei wird durch einen einfachen Oxydationsprozeß von dem gelösten Zink befreit und geht in den Handel. Den Zinkschaum befreit man durch einen Destillationsprozeß, der in Röhren, Retorten oder Tiegeln ausgeführt wird, vom Zink, das kondensiert wird und zur Zinkentsilberung zurückgeht. Die Entsilberung und Raffination des Bleies findet auf einigen Werken in Nordamerika durch den von Betts eingeführten Prozeß der Elektrolyse des Bleies in einer kieselfluorwasserstoffsauren Lösung von kieselfluorwasserstoffsaurem Blei statt. Die Hoffnung des Erfinders, daß diese Elektrolyse den Zinkentsilberungsprozeß verdrängen werde, ist bis jetzt an den höheren Kosten des Prozesses und den Schwierigkeiten, die anscheinend die Verarbeitung der edelmetallhaltigen Anodenschlämme bereitet, gescheitert.



Abbildung 38. Pattinsonprozeß auf der Königl. Muldner Hütte.



Abbildung 39. Abheben des Zinkschaumes von dem entsilberten Blei, Hütte zu Oker. (Nach Zirkler, Clausthal.)

Die durch die Anreicherungsprozesse erzielten Reichbleie kommen zu dem schon charakterisierten Treibeprozeß. Dieser wird entweder in dem deutschen Treibeherd oder in dem englischen Treibeofen ausgeführt. Der erstere (Abbildungen 40 und 41) ist ein Flammofen mit kreisförmigem oder ovalem Herd, abnehmbarer Haube und angebauter Planrostfeuerung. Die Oxydationsluft liefern zwei Düsen, die ihren Wind auf das geschmolzene Bleibad derart blasen, daß die sich bildenden und auf dem Metallbad schwimmenden

oxydischen Produkte einer seitlichen Arbeitsöffnung zugeführt werden, durch die man die Glätte in einer in dem Herd eingegrabenen Rinne, der Glättgasse, abfließen läßt. Die Sohle des Herdes wird vor dem Beginn eines jeden Treibens aus natürlichem Mergel oder aus einem künstlichen Gemenge von Ton und Kalkstein durch Aufstampfen der schwach angefeuchteten, entsprechend zerkleinerten Masse hergestellt. Die Herdmasse saugt einen Teil des gebildeten Bleioxydes auf und beschleunigt dadurch den Treibeprozeß. Bei dem deutschen Treibeprozeß werden ziemlich große Mengen Blei auf dem Herd aufgesetzt, die während des Treibens noch durch Nachsetzen ergänzt werden. So werden auf den sächsischen Hüttenwerken bis zu 800 dz Blei in einem Treiben durchgesetzt. Der englische Treibeprozeß dagegen wird in kleinen Flammöfen mit auswechselbaren Herden und mit fester Haube durchgeführt. An Stelle des Mergels verwendet man bei diesen Öfen vielfach Zement für die Herstellung des Herdes.

Beim Treibeprozeß kann man auf Bleileder, einer Bleisilberlegierung mit 60 bis 80% Ag, oder auf Blicksilber, ein unreines Silber mit bis zu 10% Verunreinigungen, oder auf Feinsilber, ein reines Silber, arbeiten. Das unreine Silber und das Bleileder werden in kleineren Öfen, die eine ähnliche Konstruktion besitzen wie die Treibeöfen, durch den gleichen Oxydationsprozeß auf Silber verarbeitet. Das dabei erhaltene reine Produkt wird als Feinsilber in Barren gegossen und geht so in den Handel, oder es wird, wenn es goldhaltig ist, granuliert, in Wasser gegossen, wodurch es die Form kleinerer Körner, Granalien, annimmt. Diese gehen nun zur Gold- und Silberscheidung. Das Wismut des Bleies sammelt sich in den letzten Posten Glätte an, und diese können bei entsprechend hohen Wismutgehalten auf nassem Wege auf Wismut verarbeitet werden.

Die Scheidung des Goldes vom Silber geschieht entweder durch die Affination, also auf nassem Wege, oder auf elektrolytischem Wege. Der erste Prozeß, die Scheidung mit Hilfe von Schwefelsäure, wird jetzt immer mehr und mehr durch die Elektrolyse verdrängt. Es wird bei demselben das Silber durch Schwefelsäure in Lösung gebracht, während das Gold als Staub ungelöst zurückbleibt. Die Lösung von schwefelsaurem Silber wird mit Kupfer oder Eisen gefällt, und das erhaltene Zementsilber wird mit geeigneten Zuschlägen geschmolzen und raffiniert. Das Gold wird entweder direkt durch Schmelzen mit entsprechenden Zuschlägen raffiniert, oder es wird mit Hilfe von Königswasser gelöst und aus dieser Lösung durch Eisenchlorür gefällt, worauf es noch umgeschmolzen und in Barren gegossen wird. Das Verfahren der elektrolytischen Scheidung ist zuerst von Möbius in Mexiko ausgearbeitet worden und ist gegenwärtig in den bedeutendsten Scheideanstalten Amerikas und Europas in Anwendung. Die Elektrolyse wird in einem aus verdünnter Salpetersäure oder einer schwach angesäuerten Lösung von Silbernitrat bestehenden Elektrolyten ausgeführt. Die Anoden, die Gold- und Silberlegierung, sind mit Leinenbeuteln umgeben, in denen sich der

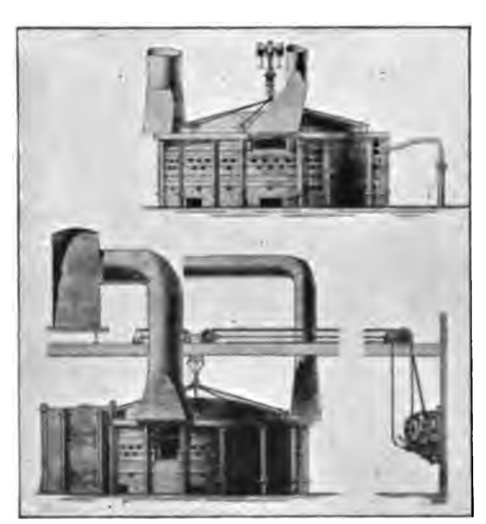


Abbildung 40. Treibeherd der Königl. Sächs. Hüttenwerke.
(Mit Genehm. d. Herrn Oberbergrats Kochinke, Freiberg.)

Anodenschlamm ansammelt; die Kathoden dagegen bestehen aus reinen Silberblechen oder aus versilberten Kupferblechen, an denen sich das Silber feinpulverig oder kristallinisch abscheidet. Die an der Kathode gebildeten Kristalle und Ansätze werden durch hölzerne Abstreicher, die in einem auf den Badwandungen hin und her fahrenden Rahmen aufgehängt sind, abgestrichen und fallen auf den Boden des Zersetzungskastens, von wo sie periodisch entfernt werden. Man arbeitet mit einer Stromdichte von 200 bis 300 Amperen, und der Spannungsverlust beträgt 1,4 bis 1,5 Volt für jede Zelle. Der goldhaltige Anodenschlamm wird der elektrolytischen Goldraffination zugewiesen.



Abbildung 41. Das Abtreiben auf der Hütte zu Oker. (Nach Zirkler, Clausthal.)

In Gegenden, wo infolge Mangels an Blei- oder Kupfererzen eine Ansammlung des Silbers von Silbererzen in einem Werkblei oder in einem Kupferstein nicht möglich und ein weiterer Transport der Silbererze nicht angängig oder zu teuer ist, gewinnt man das Silber aus seinen Erzen auf nassem Wege. Man bringt das Silber entweder durch Quecksilber als Amalgam oder mit Hilfe von wässerigen Lösungen von Salzen, wie Kochsalz, Natriumthiosulfat, Zyankalium, oder mit Wasser in Lösung, nachdem man das Silber in eine für den Prozeß geeignete Verbindungsform, Chlorsilber oder Silbersulfat, übergeführt hat. Die alten Silbergewinnungsverfahren auf nassem Wege, wie der Patioprozeß, der Washoeprozeß und andere, die auf der Amalgamation des Silbers und des Chlorsilbers beruhen, in welches man die Silbersulfide usw. auf trockenem Wege durch die chlorierende Röstung mit Kochsalz oder auf nassem Wege mit Hilfe von Metallchloriden übergeführt hat, werden in neuester Zeit in den eigentlichen Silberländern immer mehr und mehr durch die Zyanidlaugerei, die im wesentlichen dem entsprechenden Goldgewinnungsprozeß nachgebildet ist, verdrängt. In gewissen Gegenden Nordamerikas spielt die Hyposulfitlaugerei für Silbererze noch eine wichtige Rolle, die auf der Löslichkeit des Chlorsilbers in Thiosulfatlösungen beruht. Der Ziervogelprozeß, bei dem man durch geeignete Röstung den silberhaltigen Kupferstein in ein Gemenge von Silbersulfat und Kupferoxyd überführt, aus dem man durch saure Laugen das Silbersalz herauslöst, ist nur noch auf den Werken der Mansfeldschen Kupferschiefer bauenden Gewerkschaft in Anwendung.

6. DAS VORKOMMEN DES ZINKS UND SEINE GEWINNUNG

Die meisten Zinkerze enthalten das Metall als Sulfid oder als Karbonat, seltener auch als Silikat. Sehr verbreitet ist das Zinksulfid Zinkblende (ZnS) und der Zinkspat oder Smithsonit, gewöhnlich Galmei genannt ($ZnCO_3$). Calamin oder Kieselgalmei ($SiO_3[Zn.OH]_2$) und Willemit (SiO_4Zn_2) haben nur lokale Bedeutung, desgleichen das Rotzinkerz (ZnO). Reich an Zinkblende sind u. a. die Erzgänge des Oberharzes und im Rheinischen Schiefergebirge. Eine der größten dor-

tigen Gruben ist diejenige bei Lüderich unweit von Bensberg, die der Gesellschaft Vieille Montagne gehört. Da mit der Blende hier etwas Bleiglanz verwachsen ist, und um die mit Gangart, tauben Mineralien, verbundenen Erzteilchen anzureichern, sind dort großartige Aufbereitungsanlagen geschaffen worden. Ein Beispiel eines lagerartigen Vorkommens von Zinkblende ist das von Åmmeberg unweit des Wetternsees in Schweden. Das dortige Zinkblendelager ist steil aufgerichteten kristallinen Schiefern zwischengeschaltet, Gneisen und Granuliten. Es ist in eine Reihe von linsenförmigen Erzkörpern zerlegt, die meist eine Dicke von 4—5, ja bis 12 m erreichen und eine zusammenhängende Kette von etwa 5 km Länge bilden. Auch in den Tiroler Alpen auf dem Schneeberg bei Sterzing wird ein bekanntes Zinkblendelager innerhalb von kristallinen Schiefern, hier Glimmerschiefern, abgebaut. Die Blende ist hier mit etwas Bleiglanz und mit viel Quarz und Breunnerit gemengt. Von Interesse ist die hierdurch bedingte magnetische Aufbereitung der dortigen Erze. Der Breunnerit, ein Magnesiumeisenkarbonat, wird hierbei durch schwache Röstung magnetisch gemacht.

Gewaltige Mengen von Zink werden aus unregelmäßig stockförmigen Lagerstätten innerhalb von Kalksteinen und Dolomiten gewonnen. Hier sei hingewiesen auf die Gruben im Kohlenkalk und devonischen Kalk der Umgebung von Aachen sowie auf diejenigen im Muschelkalk Oberschlesiens. Es handelt sich hier um Zinkblende und Smithsonit-Galmei. Der jetzt abgebaute Vieille Montagne bei Moresnet dagegen bestand größtenteils aus Kieselgalmei. Auch die alpinen Lagerstätten von Raibl und Bleiberg liefern viel Zink aus Stöcken im Muschelkalk. Die großartigsten Bergwerke dieser Art finden sich in Nordamerika im Mississippital. Allein der Distrikt von Joplin in Missouri erzeugte 1905 252435 t Zinkerz.

Einzig in ihrer Art sind die kontaktmetamorphen Zinkerze von Franklin Furnace in New Jersey, ein Gemisch von Franklinit, einem Mangan-Zinkspinell, von Willemit und Zinkit. Bei der Aufbereitung prüft man hier die Sande durch elektrische Bestrahlung, wodurch der Willemit selbstleuchtend wird und sich anzeigt. Man kann so erkennen, ob die Sande genügend frei von Willemit sind oder nicht und daher noch weiterer Durcharbeitung bedürfen.

Das für die Gewinnung des Zinks aus seinen Erzen verwendete Verfahren ist wohl das unvollkommenste von allen für die Darstellung der technisch wichtigen Metalle in Anwendung stehenden Verfahren. Im Laufe der letzten Jahrzehnte ist jedoch außerordentlich an seiner Verbesserung gearbeitet worden. Doch ist es der Umstand, daß man das Zink durch Destillation bei höheren Temperaturen gewinnen muß, der der Vervollkommnung des Prozesses außerordentlich große Schwierigkeiten bereitet. Es liegt nämlich die Reduktionstemperatur des Zinkoxydes höher als der Siedepunkt des Zinks, und so erhält man denn bei der Reduktion des Zinkoxydes das Zink nicht flüssig, wie die meisten anderen Metalle, sondern in Form von Dämpfen, deren Kondensation sehr schwierig und mit großen Metallverlusten verbunden ist. Da die Reduktionstemperatur des Zinkoxydes zwischen 1000° und 1300° liegt, so muß der Prozeß in Apparaten ausgeführt werden, die diese Temperaturen aushalten. Die schwer schmelzbaren Tone, die für dieselben nur in Betracht kommen können, sind meist stark schwindend, und demzufolge bilden sich in den aus ihnen hergestellten Gefäßen sehr leicht Risse, die zu Metallverlusten Anlaß geben. Die wenig schwindenden Tone dagegen sind meist weniger feuerbeständig. Und so müssen die Zinkdestillationsgefäße aus einem Gemenge von zwei verschiedenen Tonen, einem hochfeuerfesten, stark schwindenden und einem weniger schwindenden, dafür aber auch weniger feuerfesten Ton hergestellt werden, um beiden Anforderungen,

Feuerfestigkeit und Dampfundurchlässigkeit, nach Möglichkeit zu entsprechen. Diese Gefäße können natürlich auch nicht in großen Dimensionen ausgeführt werden, und so muß der Zinkdestillationsprozeß in kleinen zerbrechlichen Gefäßen ausgeführt werden, wodurch weiter die großen Metallverluste bei dem Zinkgewinnungsprozeß zu erklären sind. Während man früher in Schlesien bei der Verarbeitung des zinkarmen Galmeis und bei der Verwendung von Planrosten, die mit kurzflammigen Kohlen befeuert wurden, Öfen verwendete, die eine Reihe von verhältnismäßig großen Destillationsgefäßen enthalten, hat sich in Belgien, wo langflammige Kohlen und zinkreiche Erze zur Verfügung standen, ein Ofen entwickelt, der sehr viele kleine, röhrenförmige Destillationsgefäße in einer größeren Anzahl von Reihen übereinander enthielt. Aus dem Bestreben, die Vorteile, die die größeren Muffeln bieten, mit der Anordnung von mehreren Reihen Gefäße in einem Ofenraum zu vereinigen, ist ein Ofen (Abbildungen 42 und 43) hervorgegangen, in dem ein Zinkdestillationsverfahren ausgeführt wird, das man als das rheinisch-westfälische oder als das schlesisch-belgische bezeichnet. Dieses Verfahren ist in neuerer Zeit in dem Maße, als die Galmeiverarbeitung immer mehr gegenüber der Blendeverarbeitung zurücktrat und man durch die Einführung von Gasfeuerung im Zinkhüttenbetrieb immer mehr von der Beschaffenheit der verwendeten Kohle unabhängig wurde, außer in seiner Heimat namentlich in Schlesien im großen Maßstabe zur Einführung gelangt.

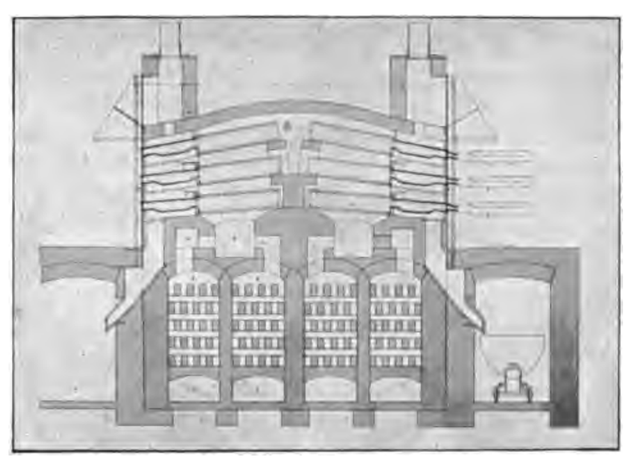


Abbildung 42. Rheinisch-westfälischer Zinkdestillationsofen. (Mit Genehmigung des Herrn Hüttendirektors Juretzka, Zinkhütte Birkengang zu Stolberg, Rheinland.)



Abbildung 43. Zinkdestillationsofen der Zinkhütte Birkengang zu Stolberg. (Mit Genehmigung des Herrn Hüttendirektors Juretzka zu Stolberg, Rhld.)

Die Zinkblende wird meist in den für Schwefelsäurefabriken geeigneten Öfen, z. B. in den Hasencleverschen Muffelöfen (Abbildung 44), abgeröstet und dann mit Reduktionskohle gemischt in die Destillationsgefäße gefüllt. Die durch Reduktion entstandenen Zinkdämpfe gelangen aus der Retorte in eine angeschlossene Vorlage, in der sie sich der Hauptmenge nach zu flüssigem Zink kondensieren. Von hier aus gehen sie in sogenannte Allongen, wo sich weitere Zinkmengen als Pulver, als Zinkstaub niederschlagen. Die Gase werden nun vielfach noch verbrannt und das dadurch entstehende Zinkoxyd in entsprechend

eingerichteten Kondensationsapparaten gewonnen. Das erhaltene Rohzink wird meist noch raffiniert, indem man es einschmilzt; das spezifisch schwere Blei und das Eisen, die das Zink verunreinigen, sammeln sich in den unteren Schichten des Bades an, so daß man darüber ein für die meisten Zwecke der Technik genügend reines Zink erhält.

Während die Elektrolyse sich im allgemeinen für die Darstellung des Zinkes nicht als ökonomisch erwiesen hat, da ihre sehr hohen Kosten weder durch die Gewinnung von Edelmetallen als Nebenprodukte, noch durch eine wesentlich höhere Bezahlung für das erzielte reinere Metall eine gewisse Deckung finden, hat sich die Verwendung des elektrischen Stromes als Heizmittel unter bestimmten Verhältnissen als vorteilhaft erwiesen. Neuerdings nimmt man auch die sogenannte Niederschlagsarbeit, die Abscheidung des Zinkes aus der rohen Zinkblende durch Eisen, in Versuchen wieder auf.

Einer der wichtigsten Fortschritte in der Metallurgie des Zinkes während der letzten Jahre ist noch die Schaffung von Aufbereitungsverfahren namentlich für jene Mischerze, welche Blei, Zink und Eisen nebeneinander enthalten. Neben dem elektromagnetischen Wege und den elektrostatischen Verfahren spielen jetzt die sogenannten Schwebeverfahren, Flotationsprozesse für die Aufbereitung von Blei-Zink-Erzen eine große Rolle. Die Zahl dieser Verfahren hat sich rasch vermehrt. Die Schwebeverfahren haben namentlich in Australien, wo sie zuerst zur Anwendung gelangten, bereits eine große praktische Wichtigkeit erlangt. Beim Potterprozeß z. B. werden die Aufbereitungsrückstände mit fast kochender Schwefelsäure verrührt, die senkrecht von unten in die Erzmassen eintritt. Der größte Teil der Zinkblende und etwas Bleiglanz steigen durch die Gasblasen, welche sich den einzelnen Erzpartikelchen in dem Bade anhängen, als dicker Schaum an die Oberfläche und werden dort ausgetragen.



Abbildung 44. Hasencleverscher Muffelröstofen der Zinkhütte Birkengang zu Stolberg.
(Mit Genehmigung des Herrn Hüttendirektors Juretzka zu Stolberg, Rhld.)

Das schon bei den Kupferlagerstätten erwähnte, von Elmore erfundene Vakuum-Schwebeverfahren gründet sich darauf, daß Öl, das man einem fließenden Brei von Erz und Wasser hinzufügt, eine scheidende Wirkung auf die Metallteilchen und die Gangteilchen ausübt. Diese Wirkung des Öles kann nun sowohl durch Säurezusatz als auch dadurch, daß man den Austritt der gelösten Gase aus der Flüssigkeit durch Unterdruck unterstützt, vergrößert werden. Die auf die eine oder die andere Weise erzeugten aufsteigenden Gasbläschen haften an den angefetteten metallischen Teilchen und nehmen sie mit an die Flüssigkeitsoberfläche.

Das Murexverfahren arbeitet naßmagnetisch. Beim Verfahren der Bergbau-A.-G. Friedrichssegen a. d. Lahn dagegen wird das Schwimmen der angefetteten Sulfidteilchen durch Kohlensäure, die aus beigemengten oder zugesetzten Karbonaten entwickelt wird, befördert.

7. DAS VORKOMMEN DES GOLDES UND SEINE GEWINNUNG

Das meiste Gold, das der Bergbau liefert, stammt von Gängen, deren es eine Anzahl recht verschiedener Typen (Gangformationen) gibt. Alle Erdteile sind mit solchen Schätzen gesegnet. Eine der goldreichsten Regionen Mitteleuropas war zur Zeit des Mittelalters, als die Goldseifen ausgebeutet wurden, Böhmen. Später wandte man sich auch den dortigen Gängen zu, und noch heute finden wir dort Golderzbergbaue. Ein mit allen modernen Mitteln arbeitender Betrieb besteht unter anderem seit über zehn Jahren zu Roudny bei Bořkowitz, südlich von Prag. Das eigentliche Goldland Europas aber, das europäische Transvaal, ist Siebenbürgen. Schon die Römer trieben in diesem Gebiete, das damals Dazien hieß, einen lebhaften Bergbau. Werfen wir einen Blick auf das dortige Goldvorkommen, an dessen Ausbeutung heute in erster Linie deutsches Kapital beteiligt ist.

Während in den Sand- und Geröllagern der Flußtäler das Gold nur als gediegen Metall vorkommt, treffen wir es auf den Gängen in mancherlei Gestalt an: als gediegen Gold, das gewöhnlich sehr silberreich ist, als Gold, mechanisch intim verwachsen oder chemisch gebunden an Schwefelkies, Kupferkies, Arsenkies oder Antimonglanz, als chemischen Bestandteil endlich von Tellurmineralien. Unter den letzteren seien erwähnt der Nagyagit oder das Blättererz ($Au_2Sb_2Pb_{10}Te_6S_{15}$), ein bleireiches Erz mit 5,9—7,6 % Gold und der Sylvanit oder das Schrifterz ($AuAgTe_4$) mit einem Goldgehalt von 26,5—40,6 %.

Die siebenbürgischen Goldbergwerke liegen in dem von den Quellflüssen des Aranyos, Szamos und Körös entwässerten Bergland nördlich von der Maros. Die Golderzgänge sind sämtlich an die im Tertiär erfolgten Durchbrüche von Andesiten und Daziten, von Trachyten und Rhyolithen, also von mäßig oder stark kieselsäurereichen Laven gebunden. Diese Gesteine bilden gewöhnlich das unmittelbare Nebengestein der mit Golderz gefüllten Klüfte. Zuweilen aber werden auch tertiäre Schichtgesteine in der Nachbarschaft der Eruptivherde von den Gängen durchsetzt. Der Absatz der Erze ist wohl als ein Nachklang der vulkanischen Ausbrüche jener Gegenden zu betrachten, ähnlich wie die Fumarolen und Solfataren an heutigen Vulkanen solche Nachklänge sind. Auch damals mögen, nachdem die Laven ausgestoßen waren, Gase und thermale Lösungen emporgestiegen sein, die Gold, Silber und andere Metalle mitbrachten. Hierbei haben sie die früher erstarrten Laven in eigentümlicher Weise zersetzt, so daß diese sich jetzt im Bereich der Golderzgänge zu „Grünsteintrachyten" oder Propyliten umgewandelt zeigen oder gänzlich in kaolinreiche Massen übergeführt worden sind. Unter den Begleitern des Goldes spielen neben dem schon genannten goldhaltigen Schwefelkies und Kupferkies auch edle Silbererze, wie Argentit, Stephanit, Rotgiltig, ferner endlich Silberfahlerz, silberhaltiger Bleiglanz, Zinkblende, gediegen Arsen, Bournonit, Antimonglanz und Realgar eine ziemliche Rolle. Die Gangarten sind neben Quarz auch Kalk- und Manganspat, seltener Baryt, Rhodonit und andere.

Die berühmtesten Bergwerke liegen bei Nagyag und Verespatak, wo der Fiskus der Unternehmer ist, bei Offenbánya, bei Boicza unweit von Déva und bei Brád, wo Gewerkschaften arbeiten. In der Nähe des letztgenannten Städtchens befinden sich die großen Musterbetriebe der reichsdeutschen Harkortschen Bergwerksgesellschaft, die ihren Sitz in Gotha hat. Diese besitzt sowohl die Zwölf-Apostel-Grube zu Ruda wie auch die St.-Johann-Evangelist-Grube zu Zdraholcz. Es zerfällt dieses weitaus bedeutendste Goldbergwerk Europas in die Reviere von Ruda-Bárza, von Valeamori und von Muszári-Dealu-Feti. Der durchschnittliche Goldgehalt der geförderten Erze

kommt auf etwa 8—10 g per Tonne zu stehen. Zuweilen gibt es aber auch sehr reiche Anbrüche, wie der von 1891 zu Muszari, wo einem sehr beschränktem Raume an der Vereinigung mehrerer Gänge in eindreiviertel Jahren gegen 600 kg Rohgold entnommen werden konnten. Die Harkortschen Werke erzeugten im Jahre 1905 1509,1 kg Gold, während ganz Ungarn in demselben Jahre 3663,5 kg produzierte. 1884—1904 belief sich der Ertrag der genannten Gesellschaft auf 14004,5 kg Rohgold. Bei der großartigen Massenförderung ist es möglich, noch Erze von nur 4—5 g per Tonne mit Gewinn zu verarbeiten. Hierbei ist daran zu erinnern, daß das Bráder Gold stark mit Silber legiert ist. Die Feinheit, so bezeichnet man den Goldgehalt von 1000 Teilen Rohgold, beträgt beim Pochgold etwa 600, beim Freigold etwa 700 und darüber.

Die Gruben der Zwölf-Apostel-Gewerkschaft liegen am Bárzaer Berg, und zwar Ruda und Bárza an der Westseite, Valeamori an der Ostseite. Alle stehen untereinander in Verbindung. Beim Vordringen in den Berg stieß man auf zahlreiche Spuren römischen Bergbaues, Resten von Schöpfrädern, die treppenförmig zur Wasserhebung übereinandergestellt waren, Holztrögen, Tragstempeln und tönernen Grubenlampen. Heute ist das Gebirge in Abständen von 30 m durch Abbausohlen erschlossen, von denen aus die Firstenbaue eingeleitet werden. Die Schachtförderung wird durch einen elektrischen Motor von Siemens & Halske betrieben, dessen Antrieb durch elektrische Kraftübertragung mittels Dynamos und Kabels von der großen Compound-Dampfmaschine im Pochwerk Gurabárza erfolgt. Auch die Wasserhebung geschieht vermittelst doppeltwirkender Triplexpumpen durch elektrische Kraftübertragung. Die Erze werden Hauptförderstrecken zugeführt, bei Ruda und Bárza dem Victorstollen, von wo sie elektrische Lokomotivbahnen zur Beladestation der 1260 m langen Bleichertschen Drahtseilbahn bringen. Diese schafft sie nach dem im Köröstal gelegenen Zentralpochwerk Gurabárza. Die größeren Erzwände sind schon an der Beladestation durch zwei Blakesche Steinbrecher zerkleinert worden. Die in Abständen von 53 m am Zugseil hängenden Erzkörbe, die durchschnittlich je 400 kg transportieren, entleeren ihren Inhalt direkt in die Erzbehälter der kalifornischen Pochwerke, die vom Grusonwerk in Magdeburg-Buckau geliefert wurden. Zwei mächtige Hartmannsche Compound-Maschinen liefern die Antriebskraft nicht nur für diese Pochwerke, sondern auch für die Pumpen, die das für die Aufbereitung nötige Wasser aus Klärbrunnen heben.

Bei vollem Betrieb sind 190 Stempel in Tätigkeit. Die meisten haben 350 kg Gewicht und werden gewöhnlich auf eine Hubhöhe von 16 cm eingestellt. Sie fallen auf die auswechselbare stählerne Pochsohle. Im Pochtroge liegen außerdem zwei einander zugewendete, mit Quecksilber bestrichene Kupferplatten, die 50—60 % des in den Erzen enthaltenen Goldes als Goldamalgam zurückhalten. Jeder Pochtrog hat eine durch ein Messingsieb geschlossene Austrittsöffnung. Durch die Sieböffnungen verlassen die unter stetigem Wasserzufluß zu feinem Schlamm zerstampften Erze als immer noch goldhaltige Pochtrübe den Trog und fließen in breitem, langsamem Strom auf die geneigten, mit amalgamierten Kupferplatten belegten Amalgamiertische. Diese und die Platten aus den Pochtrögen werden alle vierzehn Tage abgerieben, das Goldamalgam zu Kugeln gedreht und durch Glühen daraus das Gold gewonnen.

Endlich fließt die Pochtrübe durch Holzgerinne in eine Planherdanlage (Schliechwäsche), welche die schwersten Teilchen zur weiteren Extraktion des darin noch enthaltenen Goldes zurückhält. Auf den Planen, von denen von Zeit zu Zeit in hölzernen Kästen die Konzentrate abgewaschen werden, gewinnt man immer noch 9 bis 10 % der Gesamtverpochung an Mehlen, deren Goldgehalt 2—5 g per Tonne beträgt.

Auf diese Weise gehen von dem Goldgehalt der Erze nur 0,75—1,5 g per Tonne verloren. Die von den Planen stammenden Mehle werden in Pfannen durch eine Reib- und Rührvorrichtung zu feinstem Staub umgewandelt und amalgamiert.

Ganz anders ist die Behandlung der Erze mit sichtbarem Freigold. Sie werden in Grusonschen Kugelmühlen unter gleichzeitiger Amalgamation vermahlen.

Großartige Entwicklung hat der Bergbau auf Golderzgängen in anderen Erdteilen erfahren, besonders in Amerika und Australien.

Das in der Mitte des vorigen Jahrhunderts zu hohem Ruhm gelangte Goldland Kalifornien, das damals wesentlich nur Seifengold ausbeutete, ist längst zum Tiefbau auf seinen zahlreichen goldführenden Quarzgängen übergegangen. Hier wie überall in der Welt nimmt der Goldbergbau eines Landes eine Entwicklung wie folgt: Zunächst wäscht man das Gold aus den Lagern von Flußgeröll und sonstigen Anschwemmungen der Talsohlen. Sodann geht man auch zum Durchwaschen höhergelegener Schottermassen über. Inzwischen hat man schon die goldführenden Erzgänge selbst, die jene Geröllager mit Gold versorgten, entdeckt. In deren obersten Abschnitten hat sich das edle Metall sehr stark konzentriert. Viel goldführende Kiese sind ja nahe der Erdoberfläche durch die Wirkung von Luft und Feuchtigkeit zersetzt und ausgelaugt, ihr Goldgehalt aber größtenteils zurückgelassen worden. Besonders stark angereichert ist das Gold in der Zone direkt unterhalb der zersetzten Hutregion, weil dort die einsickernden goldhaltigen Tagewässer, die den Hut ausgelaugt hatten, in Berührung mit den noch frischen Sulfiden traten und von diesen zementiert wurden. Sehr reiche Erträge lohnen den Gangbergbau in dieser Zone. Aber eines Tages sind die gänzlich unveränderten Gangabschnitte vom Bergbau erreicht. Die Ausbeuten sinken rapid. Viele Gewerken verlieren den Mut und springen ab. Häufig bricht damit das ganze Unternehmen zusammen. Zuweilen aber nehmen kapitalkräftigere Gesellschaften, die einen kostspieligen Tiefbau und eine rationelle Aufbereitung einzurichten die Mittel haben, die Sache in die Hand und führen sie glücklich durch. Früher dachte niemand an die Möglichkeit solcher Tiefbaue, heute sind in Kalifornien solche von über 1000 m Tiefe sehr verbreitet.

Der berühmteste Gang Kaliforniens ist der große Muttergang (Mother Lode), der sich 1—10 m und darüber mächtig auf über 120 km verfolgen ließ.

Die ganze pazifische Küste Nordamerikas bis hinauf nach Alaska ist reich an Golderzgängen. Daß solche auch bei sehr geringem Gehalt noch einen gewinnreichen Abbau gestatten, wenn sonst nur günstige Verhältnisse herrschen, zeigt das Beispiel der berühmten Alaska Treadwell Mine auf dem Douglas Island gegenüber Juneau City. Hier wird ein bis 150 m mächtiger Gesteinskörper von Diorit von zahllosen kleinen Kalzit- und Quarztrümchen durchädert, die goldhaltigen Pyrit und Freigold enthalten. Man bringt das ganze im Mittel nur 4 g per Tonne Gold führende Gestein ins Pochwerk und verarbeitet jährlich beinahe 1 Million Tonnen. Die Abbildung 45 gibt eine Ansicht dieser Werke, die in sehr glücklicher Weise unmittelbar am Meer gelegen sind, also über sehr erleichterte Transportverhältnisse verfügen.

Unter den im Inneren des nordamerikanischen Kontinents gelegenen Goldfeldern verdient unter anderem das von Cripple Creek Erwähnung. Es liegt 15 km südwestlich von Pikes Peak im Quellgebiet des Arkansasflusses in Kolorado. Seit dem Fündigwerden des Goldes auf der nachmaligen Grube Gold King im Poverty Gulch 1891 hat sich dies 2700—3300 m hoch gelegene fast waldlose Bergland zu einem sehr lebhaften Bergwerksrevier entwickelt, dessen Jahresproduktion 1900 auf 77,7 Millionen Mark gestiegen war. Bis 1903 hatte man dort dem Schoß der Erde Gold

im Gesamtwerte von rund 525 Millionen Mark entrissen. Vorwiegend sind es kleinere Gruben, die sich in diese gewaltige Produktion teilen, denn die Art des Vorkommens dort ist der Zentralisation der Betriebe nicht günstig. Die Lagerstätten bestehen aus sehr zahlreichen, wenig mächtigen Gängen, die sich um ein tertiäres Eruptivzentrum herum geschart haben. Sie nehmen ein Gebiet von 4—5 km Radius ein, in dessen Mitte Gold Hill liegt. Die reichsten Gruben sind die am Raven Hill. Beide Berge bestehen aus einer Brekzie von phonolithischen Gesteinsfragmenten und von solchen des aus Granit und kristallinen Schiefern bestehenden Grundgebirges. Diese Brekzien sind als vulkanische Lapillianhäufungen aufzufassen. Die übrigens nur schmalen Erzgänge folgen oft im Streichen und Fallen schwarzen basaltartigen Eruptivgängen oder durchsetzen Granit, jene Brekzie oder Phonolithstöcke. Schmale Zonen des Nebengesteins zu beiden Seiten der erzführenden Spalten sind gewöhnlich reich imprägniert. Die Erze sind vorzügliche goldreiche Telluride und Fahlerze (Tetraëdrit), ihre wichtigsten Begleiter Quarz und Flußspat, die in inniger Mischung zu einer violett gefärbten Gangart vereint sind. Gold verhält sich zu Silber wie 10:1. Der Mittelwert der Erze beläuft sich auf 126 bis 168 Mark per Tonne. Einige größere Werke verarbeiten auch solche von nur 50 Mark per Tonne. Die Abbildung 46 gibt die Independence Mine, eine der größeren dortigen Gruben, wieder.



Abbildung 45. Ansicht der Alaska Treadwell Mine.

Wir beschließen diesen Blick auf die nordamerikanischen Golderzfelder mit der Abbildung einer großen Gangstufe eines Goldquarzganges aus Nevada nach W. Lindgren (Abbild. 47). Diese kann als typisch gelten. Man sieht, wie die Quarzmasse in einzelne Bänke gesondert erscheint, die bei der Stufe quergebrochen sind. Die eingesprengten goldhaltigen Kiese sind zu Streifen angeordnet.

Unter den zahlreichen australischen Goldfeldern haben namentlich die von Kalgoorlie in Westaustralien durch ihre sehr bedeutende Produktion Aufsehen erregt. Wie viele siebenbürgische Gänge führen auch die dortigen Goldquarze neben dem Freigold goldreiche Tellurverbindungen. Am meisten konzentriert war der Goldreichtum bei den nahe beieinandergelegenen Gruben der „Golden Mile", Golden Horse-Shoe, Great Boulder und Ivanhoe. Auf einem Gebiet von nur 388800 qm waren hier von der Natur bis 300 m Tiefe mindestens 126 t Rohgold niedergelegt worden, was bei dem dort herrschenden Feingehalt 107 t Feingold entsprechen würde. Die Grube Great Boulder Perseverance war eine Zeitlang mit einer Golderzeugung im Werte von 1,26 Millionen Mark pro Monat die drittreichste Goldgrube der Erde.



Abbild. 46. Die Independence-Mine im Cripple-Creek-Gebiet.

Früher nahm die Mt. Morgan Mine in Crocodile Goldfeld der Kolonie Queensland den Ruhm der größten Golderzgrube der Welt in Anspruch. Später traten hier in größerer Tiefe mehr und mehr Kupfererze an die Stelle der in der Hutregion überaus reichen Golderze.

In Asien ist der Ural, der Altai und Transbaikalien reich an Golderzgängen. Auch Vorderindien ist zu nennen. Sehr merkwürdig sind gewisse Golderzgänge auf Sumatra. Es sind nämlich Silber-Golderzgänge, deren Erz einen ungewöhnlich hohen Selengehalt aufweist. Lebong Sulit ist die wichtigste der dortigen Gruben.

Gangbergbau auf Gold ist auch an zahlreichen Stellen in Afrika bekannt, so in Transvaal, Rhodesien, Deutsch-Ostafrika. Viel großartiger aber ist eine andere Art von Golderzlagerstätten in diesem Erdteil entwickelt, nämlich die goldführenden Konglomerate.

Diese Konglomerate bilden am Witwatersrand im Transvaal bankförmige Einlagerungen inmitten einer im übrigen wesentlich aus quarzitischen Sandsteinen bestehenden Schichtengruppe, die auf kristallinen Schiefern aufgelagert ist und von den devonischen Gesteinen der Kapformation überlagert wird. Im großen und ganzen herrscht muldenförmige Lagerungsform, häufig allerdings durch Verwerfungen und Durchbrüche von Diabasen und anderen Eruptivgesteinen unterbrochen. Nahe dem Witwatersrand, dem nach Norden gerichteten Steilabsturz des großen Hochfeldes, streichen die Konglomeratbänke mit ziemlich steilem Einfallen nach Süden zu Tage aus, um allmählich flacher fallend in große Tiefen unterzutauchen. Die stark gestörten Gegenflügel der Mulde kennt man an verschiedenen Orten, so südwestlich von Heidelberg. Die meisten Gruben folgen in etwa 70 km langer Reihe jenem Ausstrich des Nordflügels bei Krügersdorp und Johannesburg. Im ganzen werden sieben Gruppen solcher Reefs unterschieden. Besonders wichtig ist das Main Reef und seine Begleiter. Hinter der Zone der Ausstrich-Gruben folgt nach Süden hin eine zweite und eine dritte, die der Tiefbaue und die der tiefsten Tiefbaue. Hat man doch die goldführenden Konglomerate noch in 1200—1800 m Tiefe bergmännisch in Angriff genommen.



Abbildung 47. Gangstufe (größeres Fragment mit Querbruch) von einem typischen Goldquarzgang aus Nevada. (Nach W. Lindgren.)

Abbildung 48 gibt ein Stück aus einem Johannisburger Konglomeratflöz wieder mit anhaftendem liegendem Quarzit, der ebenfalls eine Lage vereinzelter Gerölle führt.



Abbildung 48. Goldführendes Konglomerat von Johannesburg; Stück von der Grenze mit dem unterlagerten quarzitischen Sandstein.
(Nach einer Photographie von K. Reimann in Freiberg.)

Die Konglomeratbänke können bis zu 10, ja 30 m Mächtigkeit anschwellen. Gerade die goldreicheren sind indessen nur wenige Meter dick. Diese Konglomerate bestehen aus Geröllen von Quarz, die wiederum von feinkörnig-kristallinem Quarz verkittet sind. Im Bindemittel findet sich goldhaltiger Pyrit und Freigold, das für gewöhnlich wegen zu feiner Verteilung gar nicht sichtbar ist. Der Goldgehalt schwankt in sehr weiten Grenzen auch innerhalb einer und derselben Bank. In neuerer Zeit, seitdem man auch die ärmeren Partien der Konglomeratbänke mit Nutzen gewinnen kann, infolge der immer vollkommeneren Abbau- und Aufbereitungsmethoden, beträgt der durchschnittliche Gehalt der geförderten Konglomerate an Gold nur 12—13 g pro Tonne Haufwerk. In der ehemaligen Einöde, die nur von spärlichen Viehzüchtern besiedelt war, hat sich seit der Entdeckung des Goldes im Jahre 1886 eines der großartigsten Industriegebiete der Erde entwickelt, dessen Gesamtproduktion sich bis mit 1907 bereits auf 1 368 501 kg Feingold bezifferte, und das noch für lange Zeit reiche Ausbeuten verspricht. Johannesburg, die Zentrale für die gesamte Goldindustrie, ist zu einer blühenden modernen Großstadt herangewachsen, in der auch Kunst und Wissenschaft Heimstätten gefunden haben. Sehr begünstigt wurde der Goldbergbau durch die zum Teil unmittelbare Nähe von ausgedehnten Kohlenfeldern. Es enthält nämlich die den aufgerichteten älteren Schichten in jenem Gebiet horizontal aufgelagerte Karruformation in ihrem unteren, unserem Perm entsprechenden Horizont gute Steinkohlenflöze eingeschaltet, die gleich bei Beginn der Ausbeutung der Konglomerate nutzbar gemacht wurden. Leider aber muß das massenhafte Holz für die Zimmerung in den Gruben kostspielig von weither zugeführt werden, und dasselbe gilt natürlicherweise in dem jungen Lande für alle Maschinen und fast für alle Gegenstände der modernen Kultur. Daß trotz der hierdurch hervorgerufenen Verteuerung des dortigen Lebens die relativ



Abbildung 49. Village-Deep-Goldbergwerk bei Johannisburg mit den Laugebottichen.

recht armen Golderze in so gewinnbringender Weise ausgebeutet werden können, ist ein Triumph der hochentwickelten Technik des Randes, wie das Gebiet kurz genannt zu werden pflegt, ein Erfolg der Energie der eingewanderten Europäer, eine Frucht aber auch der unverwüstlichen Arbeitskraft der starken eingeborenen Stämme, die neben importierten Chinesen die Grubenarbeit verrichten.



Abbildung 50. Unterirdischer Abbau auf einem Konglomeratflöz bei Johannesburg.

Die gewaltigen Fördermaschinen der Schächte, die Kompressoren, die zahlreichen maschinellen Einrichtungen der Aufbereitunganstalten werden auf allen neueren Werken elektrisch betrieben. Unser Bild (Abbildung 49), das die Anlagen von Village Deep Mines mit ihren Schächten, Pochwerken und Laugereien darstellt, gibt eine gute Vorstellung von dem Aussehen einer typischen Randgrube. Das obenstehende Bild (Abbildung 50) zeigt uns einen unterirdischen Abbau auf einem schwach geneigten Konglomeratflöz mittelst Bohrmaschine. Ein weißer Vorarbeiter und zwei Schwarze bedienen den Bohrer am Arbeitsort, der gerade von einem Steiger revidiert wird. In enger Folge müssen Proben entnommen werden, um die wechselnden Goldgehalte im Auge zu behalten.



Abbildung 51. Blick in das Pochwerk der Village-Deep-Grube.

Der Gang der Verarbeitung der geförderten Erze ist kurz folgender. Das Haufwerk wird auf einen Rost gestürzt, wobei sogleich die größeren Stücke, die Wände, ausgeschlagen werden. Die an ihrer dunklen Farbe leicht kenntlichen Diabase und die quarzitischen Sandsteine werden ausgelesen und auf die Halde gestürzt. Dieses Klauben erfolgt auf rotierenden Tischen oder Lesebändern oder auf Schüttelrinnen durch Eingeborene. Ganz große Stücke sind vorher durch Blake- oder Gates-Steinbrecher zerkleinert worden. Aus dieser trockenen, gewöhnlich in das eiserne Fördergerüst eingebauten Aufbereitung gelangen die Erze mittelst Hunden oder Transportbändern in die Vorratskammern der Pochwerke, von wo sie automatisch den Pochstempeln zugeführt werden. Die Abbildung 51, die uns, wie die anderen Johannesburger Bilder, von den dortigen

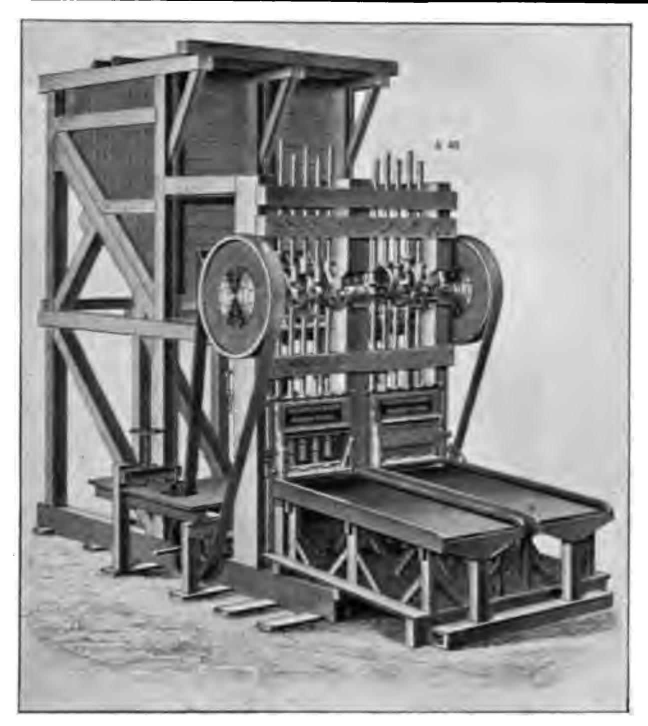


Abbildung 52. Fr. Kruppsches Zehnstempel-Pochwerk.

Gruben zur Verfügung gestellt wurde, zeigt ein solches Pochwerk der Village Deep Mine. Über die Bauart noch besser orientiert die Abbildung 52, die ein kalifornisches Zehnstempel-Pochwerk der Firma Fr. Krupp Grusonwerk (Magdeburg-Buckau) wiedergibt. Die Schwere der Pochstempel ist am Rand mehr und mehr gesteigert worden, neuerdings bis zu 600, ja 1000 kg. Stempel und die erhöhte trogartige Pochsohle sind aus Stahl gefertigt. Man pocht im gestauten Wasser und läßt durch ein Sieb die Trübe abfließen. In den Pochtrog sind amalgamierte Kupferplatten eingeschraubt, um bereits hier einen Teil des Goldes zu gewinnen. Über den Rand der Pochlade fließt die Trübe auf einen flach geneigten Tisch, welcher ebenfalls mit amalgamierten und gewöhnlich vorher versilberten Kupferplatten belegt ist. Da die Leistung der Pochstempel bei sehr feinem Pochen rasch sinkt, wählt man neuerdings weitere Siebe, sortiert die so weniger feine Trübe in Spitzkästen und verarbeitet die gröberen hier abgetrennten Teile weiter in Rohrmühlen (Naßgrießmühlen). Der Mahlraum besteht hier aus einer langen zylindrischen Trommel mit geschweißtem Blechmantel und Stirnwänden von Stahlguß. Die Innenseite ist mit einem auswechselbaren Futter von Feuersteingeschieben bekleidet, die aus der europäischen Kreideformation importiert werden. Außerdem befinden sich im Inneren eine große Anzahl solcher Steine im losen Zustand. Der Feuerstein ist hart und zugleich etwas elastisch, daher für diesen Zweck besser geeignet als irgend ein anderes Material. An die Stirnwände sind Hohlzapfen angegossen, die zum Eintragen des Mahlgutes dienen. Die Abbildungen 53 und 54 stellen die Ansicht von außen und das Innere einer solchen Röhrenmühle vom Rand dar. Die so erhaltene ganz feine



Abbildung 53. Eine Röhrenmühle vom Rand.

Trübe kann nicht gut durch Zentrifugalpumpen oder ähnliche Vorrichtungen gehoben werden, da der scharfe Quarzsand diese sehr schnell ruiniert. Deshalb hat man am Rand die altägyptischen Schöpfräder wieder aufleben lassen, deren eines Abbildung 55 zeigt. Solche gewaltige „Tailings Wheels“ sind für die dortigen Werke sehr charakteristisch. Sie heben die Trübe aus dem Pochwerk hinauf in ein System von Spitzkästen, wo sie in Pyrite und gröbere Sande, in feinere Sande und in feinste Schlämme zerteilt wird. Alle werden ein jedes für sich in kreisrunde Bottiche (vgl. Abbildung 49) geleitet und in diesen mit einer Zyankalilösung von 0,03—0,005 % durchgelaugt. Erst wird eine stärkere, hierauf eine schwächere Lauge angewandt. Aus den Laugebottichen gelangt die Lösung nach dem Absetzen mitgerissener Sandkörnchen in die Fällkästen. Hier erfolgt das Entgolden entweder durch den elektrolytischen Siemens & Halske-Prozeß oder mittelst des Mc Arthur-Forrest-Prozesses durch Zinkspäne. Aus den feinen Schlämmen muß die Lauge übrigens durch Filterpressen ausgepreßt werden. Die Zinkspäne liegen auf herausnehmbaren Sieben. Vor dem Einbringen taucht man sie in Bleiazetat. Die mit Gold bedeckten Späne werden der Schmelzhütte übergeben.


Abbildung 54. Inneres einer Röhrenmühle vom Rand.

Abbildung 55. Tailings Wheel vom Rand.

Diese Methoden haben das Ausbringen des Goldes bis zu 85, ja 95 % gesteigert.

Goldführende Konglomerate werden auch im Tarkwagoldfeld im Wassaudistrikt von Britisch-Westafrika in großem Maßstabe abgebaut.

Werfen wir endlich noch einen Blick auf die Gewinnung des Goldes aus Seifen. Man versteht darunter Geröll- und Sandablagerungen sowie locker aufgehäuften Schutt aller Art mit fein verteiltem Freigold. Man unterscheidet örtliche oder eluviale Seifen von angeschwemmten oder alluvialen Seifen. Erstere sind Haufwerke von noch ziemlich eckigen Fragmenten. Sie liegen nahe der ursprünglichen Lagerstätte, aus deren Zerstörung durch Verwitterung, Regen, Abschwemmung, Frost und Wind sie hervorgingen, und brauchen nicht an Täler gebunden zu sein. Letztere

bestehen aus abgerollten, weil durch Wasser transportierten Bruchstücken sehr verschiedener Gesteine, vorzüglich aber von Quarz, und sind auf Talsohlen, auf höhergelegene Flußterrassen oder auf Reste alter Flußläufe auf den Hochflächen beschränkt. In beiden Seifenarten bildet das Gold winzige Scheibchen und Körnchen, selten größere Klümpchen, äußerst selten auch Klumpen von mehreren Kilogramm Gewicht. Der größte bekannte Goldklumpen ist der bei Dunolly in der Kolonie Victoria gefundene „Welcome Stranger", der einschließlich ganz geringfügiger Unreinigkeiten 70,9 kg wog. Das Seifengold besitzt eine größere Feinheit, d. h. es ist weit weniger mit Silber legiert als das meiste Berggold. Die Flußtäler abwärts kann man die angeschwemmten Seifen zuweilen bis ans Meer verfolgen, besonders dort, wo kurze, aber wasserreiche Gebirgsflüsse ohne langen Unterlauf direkt in die See münden. Die sogenannten marinen Goldseifen, wie sie z. B. am Kap Nome in Alaska ausgebeutet werden oder am entgegengesetzten Ende des amerikanischen Kontinents, in den Meerengen von Feuerland, bestehen wesentlich aus goldhaltigen Sanden mit vielen schwarzen Eisenerzkörnchen. Die angeschwemmten fluviatilen Seifen, besonders solche auf den Hochflächen und von tertiärem Alter, wie mehrfach in Kalifornien, werden zuweilen von basaltischen Lavadecken teilweise verhüllt. Auch unter diesen Decken weiß der Mensch sie abzubauen.

Sehr wichtig für jeden Seifenbergbau ist die Tatsache, daß fast durchgehends nur die untersten, unmittelbar dem Grundgebirge aufgelagerten Lagen einer Seifenablagerung Gold in genügender Menge enthalten. Die im höheren Teile des Profils aufgelagerten Schotter, Grande, Sande und Lehme sind zwar meist nicht ganz goldfrei, erweisen sich aber für die Goldgewinnung als viel zu arm. In Unebenheiten, Rinnen und Kesseln des festen Felsens, unmittelbar unter der Seife, findet man das meiste Gold. Steil aufgerichtete Schiefer, zellig zerfressene Kalksteine und ähnliche Felsarten haben in ihren obersten Teilen durch ihre Spältchen oder sonstigen Hohlräume viel Gold aufgefangen und müssen daher ebenfalls mit verarbeitet werden.



Abbildung 56. Hydraulische Seifenarbeit in Alaska. (Nach Ch. W. Wright.)

Die Methoden der Bearbeitung der Seifen sind kurz die folgenden. Immer ist noch in vielen Gegenden der alte Handbetrieb in Anwendung. Man deckt die armen Massen des Abraums mittelst Wegschaufelns ab und wäscht aus den freigelegten untersten Lagern von Geröll und Sand das eingestreute Gold heraus. Dies geschieht in allereinfachster Weise hier und dort noch mittelst hölzerner oder blecherner Schüsseln und Mulden, deren sich auch die Prospektoren bei der ersten Untersuchung der Gerölle und Sande in den Flußbetten bedienen. Gewöhnlich geht man bald zur Arbeit mit der Wiege (rocker) über, das ist ein in schaukelnde Bewegung

zu setzender Kasten mit einem Siebe und darunter mit einer geneigten Herdfläche, deren Querriefen das Gold auffangen. Mit einer solchen Wiege kann nur ein sehr geübter Mann bis 1000 kg goldhaltigen Sand am Tag verarbeiten.



Abbildung 57. Hydraulische Seifenarbeit am Rande des ewigen Schnees in Alaska. (Nach Ch. W. Wright.)

Viel lohnender sind die Methoden mit Gerinnen von Holz, in deren Kopfende die Sande zugleich mit einem lebhaft fließenden Wasserstrom (sluices) eingetragen werden. Die groben Gerölle verbleiben auf dem Siebe eines Durchwurfes zurück. Die feineren Massen in den Gerinnen werden fleißig umgerührt. Je länger diese Gerinne sind, desto besser. Auch gepflasterte Kanäle treten bisweilen an ihre Stelle. Am Boden solcher Vorrichtungen fängt sich das Gold hinter Querleisten oder bei den Kanälen hinter den Vorsprüngen eines entsprechend angelegten Steinpflasters. Etwas Quecksilber in einigen der Vertiefungen erhöht durch Amalgamation der feinsten Goldstäubchen die Ausbeute. Zur Speisung solcher Gerinne mit ununterbrochenem Wasserstrom müssen oft Stauweiher angelegt werden.

Wenn größere Gesellschaften sich zusammenschließen, kann man zu kostspieligeren, aber mehr rentabeln Methoden übergehen, die aber nur dort anwendbar sind, wo die Kulturstufe des betreffenden Landes eine Verwüstung der Täler und Versandung der Flüsse noch gestattet. Außerordentlich verbreitet ist das hydraulische Verfahren. Lange Rohrleitungen bringen aus höhergelegenen Gebieten Druckwasser herbei, das aus beweglichen eisernen Mundstücken (monitors) gegen die Abbaustöße der Geröllablagerungen gespritzt wird. Unter der Gewalt des kräftigen Wasserstrahls werden die Massen unter Zurücklassung des gröberen Gerölls in einen Kanal hineingespült, auf dessen Bette die Goldfänger angebracht sind. Auch hier muß unaufhörlich im Flutgraben durch Umrühren und Beseitigung von Hindernissen dem Wasserschwall durch die Seifenarbeiter, die mit hohen Wasserstiefeln angetan sind, freie Bahn geschaffen werden. Unsere beiden Abbildungen 56 und 57 geben eine Vorstellung von diesem Verfahren („hydraulicking" der englischen Bergleute).

Die Wasserlieferung für derartige Arbeiten übernehmen manchmal besondere Wassergesellschaften, die das Betriebswasser von weither zuleiten.

Zum Wegschaffen der Massen bedient man sich häufig der Krane. Ein sehr primitiver Kran ist auf Abbildung 57 wahrzunehmen. Auch Dampfkrahne sind im Gebrauch. Ähnlichen Zwecken dienen oft Dampfbagger, die ganz an die Stelle der Monitoren treten können.

Vielfach schafft man die Gerölle und Sande zum Zweck ihrer Durchwaschung in raschem Wasserstrom aus tieferen Lagen nach höheren. Hierzu dienen wiederum Krane (derricking). Noch häufiger werden hydraulische Elevatoren angewandt. Das aufsaugende Vakuum wird hier durch Druckwasser hinter seinen Ausflußdüsen erzeugt. Der angesaugte Kies und Sand läßt das gröbere Material zurück, ehe er höhergehoben wird.

Große Schwierigkeiten hat die Seifenarbeit in Gegenden zu überwinden, wo die Talböden ewig gefroren sind und während des Sommers nur ganz nahe an der Oberfläche auftauen, wie in vielen Teilen von Alaska und im nördlichen Sibirien. Hier pflegt man in Kesseln Wasserdampf zu erzeugen und in Röhren nach der Arbeitsstätte zu leiten, um den Kies und Sand ausheben zu können, nachdem man ihn aufgetaut hat. Auch durch Holzfeuer hat man diesen Zweck zu erreichen versucht. Mitunter hat man nun die untersten Geröllagen mittelst des Auftauverfahrens bearbeitet, die hangenden Bänke aber im gefrorenen Zustande als gutes Dach stehen lassen.



Abbildung 58. Goldwäscherei an der Lala südlich von Bogoslowsk. (Nach Nissen.)

Auch das auf dem Bette von Strömen und Flüssen liegende Gold wird ausgebeutet. Recht primitiv ist das Verfahren, welches man hierbei noch an manchen uralischen Flüssen anwendet, wie die beistehende Abbildung es zeigt. In modernen Betrieben verwendet man ausschließlich Dampfbagger hierzu, deren es sehr verschiedene Modelle gibt. In Neuseeland, Nordamerika, im Ural, in Serbien und anderwärts sind solche gebräuchlich, die zugleich das grobe Material aus den mittelst der Baggereimer vom Flußbett heraufgehobenen Massen absondern und nach dem Ufer hin entfernen. Die Sonderung geschieht in Siebtrommeln, der Transport der groben Teile mittelst eines Becherwerkes, d. h. eines Bandes mit fortlaufender Reihe von Schöpfeimern auf mächtigem Ausleger. Die feineren im Bagger verbliebenen Teile werden zur Entgoldung über Gerinne geleitet.

Es können solche Bagger auch dort verwendet werden, wo es keine schiffbaren Gewässer gibt, sondern nur ein Bach das Tal durchfließt. Zu diesem Zwecke wird auf der Talsohle ein Bassin ausgehoben, in welches hinein der Schiffskörper des Baggers vom Stapel gelassen wird. Mit dem Fortschreiten der Arbeiten im Alluvium des Tales verlegt der Bagger sein Schwimmbassin von selbst, wobei er die durchgestochenen Geröllmassen hinter sich läßt. Die beiden Abbildungen 59 und 60 stellen einen solchen Dampfbagger dar, welcher im Sommer 1909 im Tal des Pekflusses in Serbien im Betriebe war.

In verschiedenen Gegenden hat sich für die Gewinnung des Goldes aus seinen Erzen der von Plattner zunächst für die Entgoldung von goldhaltigen Kiesabbränden — Reichenstein in Schlesien — in Anwendung gebrachte Chlorationsprozeß erhalten. Er besteht in einer Chlorierung des freien oder durch eine entsprechende Vorröstung freigelegten Goldes mit Hilfe von gasförmigem Chlor, Auslaugen des gebildeten Goldchlorids und Fällung des Goldes als Metall mit Hilfe von Reduktionsmitteln oder als




Abbild. 59 u. 60. Dampfbagger in einer Goldseife des serbischen Pek-Tales. (Nach Frhrn. von Unterrichter.)

Schwefelgold mit Hilfe von Schwefelwasserstoff. Bei der namentlich von Thies verbesserten, jetzt gebräuchlichen Art der Chloration wird das Erz in drehbaren ausgebleiten Trommeln aus Eisenblech, die mit Filterböden versehen sind, mit Chlor, das in der Beschickungsmasse selbst aus Chlorkalk mittelst Schwefelsäure entwickelt wird, behandelt. Die Filtration der Goldlösung und das Auswaschen der Rückstände geschieht innerhalb der Chlorationstrommel durch das in ihr befindliche Filter hindurch.

Das bei den verschiedenen Goldgewinnungsverfahren erhaltene Gold ist meist noch zu raffinieren. Es wird entweder mit entsprechenden Zuschlägen wie Glas, Borax, Salpeter usw. umgeschmolzen, oder es wird in höherer Temperatur mit einem Strom Chlorgas behandelt, wodurch die verunreinigenden Metalle in die Chloride übergeführt werden, während das sich unter der Decke der Metallchloride abscheidende Gold vom Chlor unangegriffen bleibt, oder man wendet zur Raffination des Goldes, namentlich zur Trennung desselben vom Platin die Elektrolyse an, der auch die Anodenschlämme von der elektrolytischen Gold-Silber-Scheidung unterworfen werden. Bei der Goldraffination durch Elektrolyse nach Wohlwill dient das Rohgold als Anode, ein dünnes Blech aus Feingold als Kathode und eine saure Goldchloridlösung, enthaltend 25—30 g Au und 20—50 g HCl von 1,19 spez. Gew. im Liter, als Elektrolyt. Die Elektrolyse wird bei einer Temperatur von 60—70° mit einer Stromdichte von 400—1000 und mehr Ampere auf den Quadratmeter ausgeführt; der Spannungsverlust beträgt dabei pro Zelle 1 Volt. Die Elektrolysiergefäße sind Steinzeug- oder Porzellankästen, die sich in Wasserbädern befinden; sie sind mit Vorrichtungen zum automatischen Ersatz der verdampften Flüssigkeit des Elektrolyten versehen. Aus diesem wird dann das in Lösung gegangene Platin als Platinsalmiak ausgefällt und so gewonnen.

8. DAS VORKOMMEN DES PLATINS UND SEINE GEWINNUNG

Mit verschwindend geringen Ausnahmen stammt alles Platin aus ehemaligen Olivingesteinen, die teilweise in Serpentine umgewandelt worden sind. Nur untergeordnet ist es auch in Pyroxengesteinen, eigentümlichen Abarten der Gabbros, nachgewiesen worden. Als stetiger Begleiter des Platins findet sich im Olivinfels und Serpentin das Chromeisenerz, im Pyroxenfels der Magneteisenstein. Alle diese Gesteine sind ursprünglich aus dem Schmelzfluß erstarrt, und auch das darin eingesprengte

Platin ist aus dem Magma auskristallisiert, zuweilen zusammen mit Osmiridium, dessen Kristalle es häufig umschließt. Der Platingehalt der Muttergesteine ist sehr selten so groß, daß es sich lohnt, diese zu stampfen, um durch nasse Aufbereitung das Platin daraus zu konzentrieren. Vielmehr macht sich der Mensch die von der Natur selbst vollzogene Aufbereitung zunutze, das heißt, er sucht das Platin in den Seifen auf. Im Ural, dem Hauptgebiet für Platingewinnung, sind sowohl die eluvialen Seifen ausgebeutet worden, die aus den eckigen Gesteinsbrocken in den Schluchten und an den Abhängen der Serpentin- und Olivinfelsberge bestehen, wie die weitverbreiteten alluvialen Seifen, die Sand- und Geröllmassen der Täler. Wie bei den Goldseifen, so ist auch hier die das Waschen lohnende Schicht gewöhnlich unmittelbar auf dem festen Felsuntergrund aufgelagert. Was darüber folgt, ist meist zu arm und muß abgeräumt werden. Wo der Abraum große Mächtigkeit besitzt, wird auch unterirdischer Abbau der reichen Lagen angewandt. Die Methoden der Gewinnung ähneln denen bei dem Betrieb der Goldseifen. Häufig gewinnt man übrigens beide Metalle zugleich.

Die wichtigsten uralischen Platinseifen liegen in den Flußgebieten des Iß, der Wyja und des Tagil, sowie auch der Soßwa. Im Tagilgebiet war namentlich die Umgebung des Berges Solowioff reich an Platin. Große Klumpen, bis 3,3 kg Gewicht, sind gelegentlich, wenn auch als sehr große Seltenheiten, gefunden worden. Für gewöhnlich sind die Ausbeuten gering. Früher gab es Seifen, die 26—104 g pro Tonne Haufwerk ergaben, jetzt verarbeitet man durch Dampfbagger noch Sande, die nur $^1/_{10}$—$^1/_{15}$ g pro Tonne enthalten. Die größten Betriebe am Iß verwaschen täglich etwa 800 cbm Sand.

Das uralische wie überhaupt alles natürliche Platin ist sehr eisenreich, enthält außerdem noch geringe Mengen von Iridium, Rhodium, Palladium, Osmiridium, Kupfer und Gold. Aufgabe der Metallurgie ist es, diese Verunreinigungen, die für sich zum Teil wertvoll sind, zu entfernen.



Abbildung 61. Eine durch Eigenlöhner betriebene Platinseife im Ural.
(Nach W. Frhrn. von Fircks.)

Von den beiden Bildern stellt Abbildung 61 den Betrieb in der Platinseife Ekaterinburgski im Jahre 1908 dar, wie er durch Eigenlöhnerbau (Starateli) ausgeführt wird. Auch das Bild in Abbildung 62 gibt uns das alte Verfahren wieder. Hier sind Starateli beschäftigt, das auf dem primitiven Herd konzentrierte Platin abzuheben. Es wird dann in eine Papierkapsel geschüttet und diese in eine versiegelte Eisenbüchse gesteckt. Diese wird abends in Gegenwart aller Eigenlöhner geöffnet und jede Kapsel, die den Namen der betreffenden Starateli trägt, für sich ausgewogen.

Der Ural liefert 90—95% der Weltproduktion an Platin. Viel geringere Bedeutung haben die Platinseifen in Kalifornien, Oregon, Britisch-Kolumbien, Colombien und einigen anderen Ländern. In den Goldseifen von Colombien wurde das Platin zuerst erkannt und wegen der äußerlichen Ähnlichkeit mit Silber (plata) Platin genannt.



Abbild. 62. Platingewinnung durch Eigenlöhner im Ural. (Nach W. Frhrn. von Firdks.)

Das aus den Rohstoffen durch Aufbereitung im Platin angereicherte Rohmaterial für die Platingewinnung kann durch Verbleien nach dem Verfahren von Deville und Debray auf Rohplatin verarbeitet werden. Das Aufbereitungsprodukt wird hierbei mit Bleioxyd und Bleisulfid verschmolzen, wobei man ein platinhaltiges Blei erhält. Dieses wird alsdann abgetrieben und das dabei gewonnene Rohplatin in einem mit Kalkfutter versehenen Ofen raffiniert. Bei der Durchführung des nassen Weges zur Darstellung des Platins, der gebräuchlicher ist als der trockene Weg, wird das Platin, das man als Platinchlorid in Lösung gebracht hat, nach vorangegangener Reduktion des Paladiumchlorids und des Iridiumchlorids zu Chlorüren mit Salmiak als Platinsalmiak gefällt und das erhaltene Produkt durch Glühen in Platinschwamm verwandelt. Dieser wird in Öfen aus Kalkstein vor dem Knallgasgebläse geschmolzen und raffiniert.

9. DAS VORKOMMEN DES ARSENS UND SEINE GEWINNUNG

Das häufigste Arsenerz ist der Arsenkies (FeAsS) mit 46% Arsen. Weiter werden noch auf Arsen verarbeitet das in der Natur gediegen vorkommende Arsen, das Auripigment (As_2S_3) und das Realgar (As_2S_2). Endlich gewinnt man Arsenverbindungen als Nebenprodukt bei der Verhüttung arsenhaltiger Silber-, Nickel- und Kobalterze. Arsenkies findet sich auf manchen kontaktmetamorphen stock- oder lagerartigen Lagerstätten. Es seien das ziemlich bedeutende Vorkommen von Reichenstein in Preußisch-Schlesien sowie mehrere aus der Gegend von Schwarzenberg in Sachsen angeführt. Ferner bricht das Erz auf manchen Gängen der Zinnerz- und der Silber-Bleierzformationen in solcher Menge mit ein, daß seine besondere Gewinnung lohnt, so bei den Zinnerzgängen von Geyer und manchen kiesig-blendigen Bleierzgängen der Gegend von Schneeberg in Sachsen. Gediegen Arsen bieten viele Silber-Kobalterzgänge dar. Ein bedeutendes Realgarvorkommen endlich hat man bei Allchar in Mazedonien abgebaut. Im allgemeinen sind die eigentlichen Arsenerzlagerstätten räumlich ziemlich beschränkt und daher meist nur der Sitz von Kleinbetrieben.

Nur ein geringer Teil der Arsenerze wird auf metallisches Arsen, sogenannten Fliegenstein oder Scherbenkobalt, verarbeitet. Das Hauptprodukt der Arsenerzverarbeitung ist die arsenige Säure, das Arsenmehl, Giftmehl, das sowohl als kristallinisches Pulver als auch als geschmolzenes Glas, Weißglas, in den Handel geht. Daneben spielt noch das rote Arsenglas, das künstliche Schwefelarsen, im Handel eine

Rolle, da es namentlich im Gerbereibetriebe als Enthaarungsmittel in bedeutendem Maßstab Verwendung findet. Das metallische Arsen wird hüttenmännisch aus Arsenkies durch Sublimation in Röhren als kristallinisches glänzendes Produkt von stahlgrauer Farbe gewonnen. Die arsenige Säure ist im wesentlichen ein Nebenprodukt der oxydierenden Röstung von arsenhaltigen Nickel-, Kupfer-, Bleierzen usw. Die bei diesem Prozeß entstehenden Flugstaube enthalten die Hauptmenge des Arseninhaltes der Erze in Form von arseniger Säure. Durch Abröstung des erhaltenen Flugstaubes in den nämlichen Öfen kann man eine unreine arsenige Säure erhalten, die durch Umsublimieren in entsprechend konstruierten Röstöfen gereinigt wird. Die Sublimationsprodukte werden in Kanälen aus Mauerwerk und Bleiblech aufgefangen. Das gereinigte weiße Mehl wird zum Teil auch durch Umsublimation in sogenannten Kesselöfen in die amorphe Modifikation der arsenigen Säure, in das Weißglas übergeführt. Diese Öfen bestehen aus einem über einer Planrostfeuerung eingebauten Kessel, auf den eine Blechtrommel aufgesetzt wird. Der Kessel wird derart geheizt, daß die aus dem Kessel absublimierende arsenige Säure sich an den Trommelwandungen nicht als Pulver, sondern als geschmolzenes Glas absetzt. Ein geringer, wenige Prozente betragender Schwefelzusatz liefert an Stelle des Weißglases das sogenannte Gelbglas, ein Gemenge von arseniger Säure mit wenig Arsentrisulfid. Das Rotglas schließlich ist eine Verbindung von Arsen und Schwefel, deren Zusammensetzung der des Realgars nahekommt. Die chemische Zusammensetzung des Handelsproduktes spielt eine weniger wichtige Rolle als das Aussehen desselben, von dem aus man auf die Reinheit und Anwendbarkeit des Materials zu schließen pflegt. Das Glas wird in Gefäßöfen durch Sublimation aus einem Gemenge von Arsenkies und Schwefel oder Arsenkies und Schwefelkies erzeugt. Das erhaltene Rohprodukt, das meist zu schwefelreich ist, wird durch Läutern und Umschmelzen unter Schwefelzuschlag auf ein Glas von gewünschter Farbe gebracht, das dann, äußerst fein gemahlen, in den Handel geht.

10. DAS VORKOMMEN DES ANTIMONS UND SEINE GEWINNUNG

Mit ganz geringen Ausnahmen stammt alles Antimon der Industrie von Quarzgängen und findet sich hier eingesprengt als Antimonglanz (Sb_2S_3). Dieser zersetzt sich unter dem Einfluß der Atmosphäre zu Antimonocker, worunter man verschiedene Sauerstoffverbindungen des Antimons zusammenfaßt. Berühmt sind die Antimonglanzgänge Japans, besonders die von Itshinokawa auf der Insel Shikoku mit ihren alle größeren Museen zierenden herrlichen Gruppen großer Kristalle des bleigrau gefärbten Erzes. In Europa liefern Antimonglanz zerstreute Gangvorkommen in Böhmen, Ungarn, Portugal, Frankreich, früher auch Deutschland. Es sind gewöhnlich kurzlebige Bergbaue, da die Antimonerzgänge im Streichen und Fallen nicht lange auszuhalten pflegen. Das für Arsenerz genannte Allchar hat auch viel Antimonglanz geliefert.

Aus den Antimonerzen pflegt man außer dem metallischen Antimon, dem Antimonii regulus, noch vielfach Schwefelantimon, das Antimonium crudum, herzustellen, das wieder als Ausgangsmaterial für die Darstellung von metallischem Antimon und von Antimonpräparaten dient. Dieses Produkt erhält man durch einen einfachen Ausschmelzprozeß, der in Tiegeln, Röhren oder Flammöfen ausgeführt wird. Die Rückstände von dieser Arbeit werden noch auf metallisches Antimon verarbeitet.

Für die Gewinnung des Antimonmetalls wird meist der trockene Weg angewendet, und zwar das sogenannte Röstreduktionsverfahren und die Niederschlagsarbeit. Bei

dem ersteren Verfahren wird das Antimonsulfid durch Röstung in die Form eines Oxydes übergeführt, das dann auf Metall reduzierend verschmolzen werden kann. Die Röstung führt je nach der Art der Durchführung des Prozesses zu zwei verschiedenen Oxyden. Röstet man mit normaler Luftzuführung und unter Einhaltung einer Temperatur von nicht über 350° ab, so erhält man das nicht flüchtige antimonsaure Antimonoxyd, während man bei Abröstung in höherer Temperatur und unter beschränkter Luftzuführung flüchtiges Antimonoxyd erhält, das in Flugstaubkammern aufgefangen werden kann. Aus oxydischen Erzen und den Rösthüttenprodukten wird nun das Rohantimon durch ein reduzierendes Schmelzen erhalten. Die Niederschlagsarbeit beruht auf der Umsetzung des Antimontrisulfides mit Eisen im Schmelzflusse zu metallischem Antimon und Eisensulfid. Der Prozeß wird sowohl in Tiegeln als auch in Flammöfen ausgeführt.

Das bei den verschiedenen Prozessen erhaltene Rohantimon ist zu raffinieren. Diese Arbeit besteht in einem schwefelnden Schmelzen desselben mit Antimonsulfid und Kochsalz in Tiegeln oder Flammöfen und dem sogenannten Sternschmelzen, einem Umschmelzen des Antimons mit Zuschlägen wie Soda, Pottasche und Antimontrisulfid. Wendet man bei dem Ausschöpfen des Metalls die entsprechende Vorsicht an und hält man das Metall beim Abkühlen mit etwas Schlacke bedeckt, so bildet sich auf der Oberfläche des reinen Metalls der sogenannte Stern, das sind Metalldendriten, die im Handel als Zeichen der Reinheit des Metalls betrachtet werden.

11. DAS VORKOMMEN DES QUECKSILBERS UND SEINE GEWINNUNG

Weitaus der größte Teil des Quecksilbers wird aus seiner in der Natur vorkommenden Verbindung mit Schwefel, dem Zinnober (HgS), gewonnen, der 86,2% des Metalls enthält. Auch gediegen Quecksilber und quecksilberhaltige Fahlerze werden an manchen Stellen ausgebeutet. Fahlerze können 15—17% Quecksilber enthalten. Alle diese Mineralien finden sich ausschließlich auf Gangspalten oder in gänzlich zerrütteten, von zahlreichen Spältchen durchäderten Gebirgsschollen, besonders solchen, die reich an Bitumen oder fein verteilter Kohle sind. Von den Klüften und Spältchen aus ist der Zinnober häufig auch ins Nebengestein eingewandert, indem er alle Lücken ausgefüllt oder einen Teil der vorhandenen Gesteinssubstanz verdrängt hat. Die Zuführung geschah wohl überall durch Thermalwässer, wie man denn noch heute etwas Zinnober in den Absätzen gewisser Thermalquellen vorfindet, so in Kalifornien und Nevada. Die berühmtesten Quecksilberlagerstätten Europas sind die von Almadén an der Sierra Morena in Spanien, die von Idria in Krain und die am Monte Amiata im südlichen Toskana.

Almadén war schon Plinius bekannt. Es hat eine Jahresproduktion von 1200 bis 1700 t Quecksilber. Von 1564—1895 hat es gegen 153000 t geliefert. Den steil aufgerichteten silurischen Schiefern sind hier drei 8—10 m mächtige Quarziteinlagerungen eingeschaltet, die stark mit Zinnober imprägniert sind. Die rotgefärbten Reicherze können 80—85% Quecksilber enthalten. In manchen Teilen der Grube ist das Gestein auch mit Tröpfchen des gediegenen Metalls bedeckt.

Bei Idria sind stark gefaltete Gesteine der Triasformation, besonders bitumenreiche Schiefer aus dem Verband der Wengener Schichten, die sogenannten Skonzaschiefer, der Sitz einer reichen Zinnoberimprägnation. Auch Dolomite führen das Erz reichlich eingesprengt, das hier nach seiner Farbe als Stahl- und Ziegelerz benannt

wird. Daneben werden auch echte Gänge abgebaut, die Zinnober neben Quarz, Kalzit und Dolomitspat enthalten. Die Jahreserzeugung beträgt hier 500—600 t.

Am Monte Amiata werden sehr verschiedenartige mit Zinnober imprägnierte Gesteine abgebaut: Mergel, Kalke, Tone, Sandsteine und Trachyte. Hier hat der Bergbau, der jährlich 400—500 t Quecksilber erzeugt, nachweisbar schon in prähistorischer Zeit begonnen.

Von außereuropäischen Ländern liefern namentlich Kalifornien, Texas, Mexiko und Peru Quecksilber.

Bei der Gewinnung des Quecksilbers aus dem Zinnober befreit man durch eine oxydierende Röstung das Quecksilbererz in Schachtöfen, Schüttröstöfen oder Flammöfen von seinem Schwefelgehalt und destilliert das Metall, das hierbei direkt entsteht, ab. Die Quecksilberdämpfe werden in geeigneten Kondensationsapparaten wieder kondensiert. Bei dieser Arbeit erhält man außer dem metallischen Quecksilber noch den sogenannten Stupp, ein Gemenge von Quecksilberkügelchen, Quecksilberverbindungen, Ruß, Flugstaub und verschiedenen Sublimationsprodukten. Das in diesem Zwischenprodukt enthaltene Quecksilber wird durch Pressen aus demselben gewonnen, während das metallische Quecksilber meist nur noch einer Filtration unterworfen wird, ehe es in den Handel geht. Eine weitere Reinigung des Quecksilbers durch Waschen mit Säure findet nur dann statt, wenn dasselbe für wissenschaftliche Zwecke verwendet werden soll.

12. DAS VORKOMMEN DES WISMUTS UND SEINE GEWINNUNG

Bei weitem das meiste Wismut, das der Industrie zufließt, stammt von Erzgängen. Es findet sich hier größtenteils als gediegen Wismut, ferner als Wismutglanz (Bi^2S^3), endlich, und zwar in den Hutbildungen, als Wismutocker Bi^2O^3 und als Bismutit (basisches Wismutkarbonat). Wismutreich sind besonders manche Gänge der Zinnerzformation, so z. B. die Zinnerzgänge von Altenberg in Sachsen und mancher Gegenden Boliviens. Als eigentliche Wismuterzgänge mit starkem Vorwalten dieses Metalls können unter anderen diejenigen von Tasna und vom Cerro de Chorolque im südlichen Bolivien bezeichnet werden. Das Haupterz ist hier Wismutglanz. Die Bergbaue am Cerro de Chorolque gehen bis hinauf zu 5400 m Meereshöhe. Im sächsisch-böhmischen Erzgebirge dagegen findet sich das Wismut auf Kobalt- sowie auf Silber-Kobalt-Erzgängen, so namentlich bei Schneeberg und Johanngeorgenstadt in Sachsen und bei Joachimsthal in Böhmen. Die Verarbeitung führen hier seit langer Zeit die Blaufarbenwerke Niederpfannenstiel und Oberschlema aus, die auch viele exotische Wismuterze importieren.

Die Gewinnung des Wismuts aus Erzen, die es gediegen enthalten, ist sehr einfach, da sie in einem Ausschmelzen, Aussaigernlassen des Wismuts aus der Gangmasse besteht. Erze dagegen, in denen das Wismut nicht bloß als Metall, sondern auch als Verbindung, namentlich als Sulfid, enthalten ist, werden in der Regel in Gefäßöfen, seltener in Flammöfen durch direktes Verschmelzen mit Eisenzuschlag, der das Wismutsulfid zerlegt, oder nach Abröstung des Schwefels und des Arsens durch reduzierendes Schmelzen nutzbar gemacht. In den Blaufarbenwerken gewinnt man sodann große Mengen Wismut als Metall bei dem Erschmelzen der Smalte aus wismuthaltigen Kobalterzen. Schließlich ist auch die Menge Wismut, die in Blei-Silber-Hütten als Nebenprodukt bei der Verarbeitung des silberhaltigen Werkbleies gewonnen wird, nicht unerheblich. Beim Abtreibeprozeß sammelt sich das Wismut in

den letzten Bleiglätten und in der Herdmasse des Silberraffinierofens an. Aus diesen Materialien wird das Wismut auf nassem Wege gewonnen. Die fein zerkleinerten Massen werden mit Salzsäure gelaugt, wodurch das Wismut in Lösung geht. Aus der Chlorwismutlösung wird mit in Lösung gegangenes Blei durch Schwefelsäure und nach dem Abfiltrieren des Bleisulfats das Wismut als Oxychlorid durch Verdünnen der Lösung mit Wasser gefällt. Das basische Wismutsalz wird schließlich mit Kalk und Kohle auf Metall verschmolzen.

13. DAS VORKOMMEN DES NICKELS UND KOBALTS UND IHRE GEWINNUNG

NICKELERZE INNERHALB VON GABBROS. Die Hauptmenge des auf der Erde erzeugten Nickelmetalls rührt aus nickelhaltigen Magnetkiesen innerhalb von Gabbros oder von Amphibolgesteinen her, die aus Gabbros durch Metamorphose hervorgingen. Solche Magnetkiese enthalten im rein ausgelesenen Zustande 2—5, selten 5—8 % Nickel, sowie 0,05—0,1 % Kobalt. Mehrfach ließ sich nachweisen, daß eine mikroskopisch feine Verwachsung zwischen dem normalen Eisensulfid und einem eigentlichen Nickelmineral, dem Pentlandit (Fe+Ni) S, vorliegt. Dieser nickelhaltige Magnetkies bildet zusammen mit etwas Kupferkies und wenig Pyrit feine Einsprengungen oder größere nest- und stockartige Ausscheidungen im Gabbro oder Amphibolgestein, die wenigstens in ihrer ersten Anlage und vor ihrer häufig später erfolgten sekundären chemischen Umlagerung als Abspaltungen des Gabbroschmelzflusses aufgefaßt werden müssen. Das Erzgemisch enthält immer noch viele Silikate eingewachsen, besonders Hypersthen, Diallag, Labradorit, ferner Quarz, Biotit, primäre und sekundäre Hornblende und Olivin.

Eine Zeitlang versorgte namentlich Norwegen die Welt mit derartigen Erzen. Die Vorkommnisse sind weit über das Land zerstreut. Ein paar befinden sich noch heute in Produktion. Der Höhepunkt war aber schon 1876 erreicht, wo Norwegen 360 t Nickel aus solchen Erzen erzeugte.

Auch Schweden, Piemont und andere Länder besitzen kleinere Gruben dieser Art, die meist jetzt stillgelegt sind.

Bei weitem das großartigste Beispiel hierfür ist aber das Grubengebiet der Umgebung von Sudbury im nördlichen Teile der kanadischen Provinz Ontario. Die Bergwerke liegen hier sämtlich in der Randzone einer 54 km langen und 24 km breiten Eruptivmasse von Norit (Hypersthengabbro), deren Gestein nach innen hin kieselsäurereicher wird und in eine Art Granit (Mikropegmatit) übergeht. Außer in der Randzone finden sich Erzausscheidungen auch in gangartigen Ausläufern dieser Eruptivmasse, die sich in die umgebenden älteren Gesteinsschichten hinein erstrecken. Die größte der dortigen Gruben ist die Creighton-Grube, überhaupt die größte Nickelgrube der Welt. Der im Erz stehende Tagebau hatte vor ein paar Jahren ein Ausmaß von 45×60×19 m, und durch Bohrungen wurde das Erz bis mindestens über 120 m Tiefe nachgewiesen.

Im Jahre 1907 hat das Sudbury-Gebiet 351916 t Erz gefördert. Die Nickelgehalte der Erze schwanken gewöhnlich zwischen 2—4 %, die Kupfergehalte zwischen 2—2,5 %.

NICKEL UND KOBALT MIT SILBER AUF ERZGÄNGEN. Schneeberg, Annaberg, Johanngeorgenstadt und Joachimsthal im Erzgebirge sind altbekannte Fundorte nickel- und kobaltreicher Silbererzgänge in Gesellschaft von eigentlichen Kobalterzgängen, die gewöhnlich auch Wismut liefern. Das Haupterz ist hier der Speiskobalt

(Smaltin), ein bis ungefähr 23 % Kobalt haltendes Mineral von der Zusammensetzung (CoFeNiAsS). Durch Zersetzung im Hut geht aus dem lichtgrauen Erz die schön rote Kobaltblüte hervor ($Co^3As^2O^8+8ag$). Seltener ist Kobaltkies und der sekundär gebildete Asbolan (schwarzer Erdkobalt). Hierzu tritt als Hauptnickelerz der Weißnickelkies oder Chloanthit ($NiAs^2$), begleitet im Hut von grüner Nickelblüte, ferner Rotnickelkies (NiAs). Die Wismuterze wurden schon unter Wismut genannt. An allen genannten Orten waren zunächst die bisher aufgeführten Erze unwillkommene Begleiter der damals nur allein begehrten edlen Silbererze, nahe denen besonders gediegen Silber, Argentit, Tetraëdrit, Proustit und Pyrargyrit zu nennen sind. Auch Arsenerze und Uranerze nehmen an der Zusammensetzung dieser Gänge teil, die außerdem Kalk- und Dolomitspat, Quarz, Baryt und Flußspat führen. Die genannten sind nur die allerwichtigsten Vertreter aus der sehr großen Zahl von Mineralien auf diesen Gängen.

Der frühere Silberreichtum dieser Gruben war ein ganz gewaltiger und setzte damals nach dem Fündigwerden die Welt ebenso in Erstaunen, wie es kürzlich die neu entdeckten Silber-Kobalt-Erzgänge von Cobalt City im nördlichen Teile der kanadischen Provinz Ontario getan haben. Bekannt ist der reiche Bergsegen auf dem Michaelis-Morgengang der Grube St. Georg bei Schneeberg. Hier nahm am 23. April 1474 der Herzog Albrecht von Sachsen in einem der Weitungsbaue auf einem 400 Zentner schweren Block von gediegen Silber, Glaserz und Silberhornerz ein unterirdisches Mahl ein. Aber schon gegen Ende des 16. Jahrhunderts begann der Verfall der Silberproduktion. Der Bergbau erholte sich erst wieder, als die Verwendung des Kobaltoxyds zur Herstellung feuerfester blauer Farben dieses bis dahin mit einem Schimpfwort belegte Metall wertvoll gemacht hatte. Noch heute verarbeiten die 1635 und 1644 zu Niederpfannenstiel und Oberschlema bei Schneeberg gegründeten Blaufarbenwerke die dortigen und viele von auswärts importierten Nickel- und Kobalterze. Viel später hatte man das Nickelmetall zu verwerten gelernt, zuerst, als E. A. Geitner in Schneeberg anfangs der zwanziger Jahre des 19. Jahrhunderts die vielgebrauchte Legierung desselben mit Kupfer, das Argentan, erfand.

Die erzgebirgischen Gruben, von denen die von Annaberg und Umgebung schon vor Jahren geschlossen worden sind, haben durch die schon erwähnte Entdeckung der Gänge von Cobalt City im Frühling 1903 eine weitere scharfe Konkurrenz erhalten, so daß es wünschenswert ist, noch neue Verwendungsarten für das zu reichlich auf den Markt geworfene Kobaltmetall zu erfinden.

Diese kanadischen Gänge ähneln den erzgebirgischen in hohem Maße. Während aber jene im metamorphen Schiefer nahe den dortigen Granitdurchbrüchen oder teilweise im Granit selbst aufsetzen, sind bei Cobalt City Grauwackenschiefer, Quarzite und Konglomerate mit Granit- und Diabasbruchstücken das Nebengestein. Zu den Erzen treten in Kanada Glanzkobalt (CoAsS) und die Antimonverbindung des Silbers Dyskrasit (Ag_2Sb) hinzu. Dafür scheinen die Uranerze mit ihrem Radiumgehalt wie auch Flußspat und Schwerspat zu fehlen. Schon 1907 hat der Wert der kanadischen Jahresproduktion 6301095 Dollar erreicht, der natürlich wesentlich aus dem Verkauf der Silbererze resultiert. Ebenfalls wie im Erzgebirge haben die Gänge eine sehr geringe Mächtigkeit, meist nur von 2—3 cm, ganz ausnahmsweise bis über 0,3 m. Wie vor Jahrhunderten bei der Entdeckung von Schneeberg und Annaberg wurden auch im Waldgebiet am Temiskaming-See im Anfang Erze von ganz ungewöhnlich hohem Silbergehalt gewonnen. So betrug der Durchschnittsgehalt der Förderung des ersten Vierteljahres 1905: Silber 4,8 %, Kobalt 8,3 %, Nickel 4,7 %, Arsen 34,6 %.

NICKEL- UND KOBALTGEWINNUNG. Die Verarbeitung sulfidischer Nickelerze auf ihren Metallgehalt gestaltet sich, wenn dieselben kupferfrei sind, oder wenn man aus kupferhaltigen Erzen einer Kupfer-Nickel-Legierung nicht reines Nickel herstellen will, in gleicher Weise wie die Kupfergewinnungsarbeiten, die von sulfidischen Kupfererzen ausgehen. Das Nickel hat nächst dem Kupfer die größte Verwandtschaft zum Schwefel und bildet als Schwefelnickel mit Schwefeleisen zusammen die Nickelsteine. Die Arbeiten und Apparate sind bei den einzelnen Nickelgewinnungsarbeiten fast die gleichen wie bei den entsprechenden Kupfergewinnungsprozessen. Das geröstete Erz wird auf Nickelrohstein verschmolzen und dieser nach entsprechender Abröstung auf Konzentrationsstein verarbeitet oder in Konvertern auf dieses nickelreiche Produkt verblasen. Ein Verblasen des letzteren auf Metall ist jedoch nicht möglich, da man hierbei nicht ein reines Metall, sondern stets nur entweder ein nickeloxydulhaltiges oder ein schwefelnickelhaltiges Nickel erhält. Aus Silikaten wie dem Garnierit, dem Nickelmagnesiumhydrosilikat und ähnlichen Erzen gewinnt man das Nickel in der Regel in der Weise, daß man es durch Verschmelzen der Erze mit schwefelhaltigen Zuschlägen in einem Stein ansammelt, den man in der oben angegebenen Weise weiterverarbeitet. Geht man bei der Nickelgewinnung von arsenhaltigen Erzen aus, so führt man den Nickelgehalt derselben durch Schmelzprozesse in eine Rohspeise, ein nickel-, arsen- und eisenhaltiges Zwischenprodukt, über, die man nach entsprechender Abröstung auf eine Konzentrationsspeise mit 65—70% Nickel verschmilzt.

Große Schwierigkeiten bereitet die Verarbeitung Nickel und Kupfer enthaltender Erze. Man führt nach Durchführung der Erzröstung diese beiden Metalle durch Verschmelzen der Erze in einen Kupfer-Nickel-Rohstein über. Dieser wird durch ein Verschmelzen mit Natriumsulfat und Kohle im Schachtofen in einen spezifisch leichteren Kupfer-Eisen-Natrium-Stein und einen spezifisch schwereren Nickel-Eisenstein, die sich im Tiegel voneinander nach dem spezifischen Gewicht trennen, geschieden. Die Produkte dieser Schmelzung, die man als tops, Köpfe, und bottoms, Böden, bezeichnet, sind noch nicht rein. Sie müssen jedes für sich nochmals verarbeitet werden. Die kupferhaltigen Köpfe läßt man verwittern, und man verschmilzt sie dann mit dem kupferhaltigen Stein, der bei der Weiterverarbeitung der Böden fällt, von neuem auf einen kupferreichen, nickelarmen, spezifisch leichten Stein, die konzentrierten Köpfe, und einen nickelhaltigen, spezifisch schweren Stein, den man mit den Böden vom ersten Schmelzen weiterverarbeitet. Diese werden mit Natriumsulfat und Kohle von neuem auf einen kupferhaltigen Stein, der zum Verschmelzen der verwitterten Köpfe kommt, und konzentrierte Böden verschmolzen. Die letzteren werden chlorierend geröstet und mit Wasser gelaugt und ergeben einen Laugerückstand, der auf Nickel verarbeitet wird, und eine Lösung von Kupfer, die in bekannter Weise gefällt wird. Die konzentrierten kupferreichen Köpfe werden mit Wasser gelaugt, wodurch ein edelmetallhaltiger Laugereirückstand, der zu der Kupferarbeit kommt, und eine Lösung, die man auf die in ihr enthaltenen Natriumsalze verwertet, erhalten wird.

Aus totgerösteten kupfer- und nickelhaltigen Erzen oder Steinen kann nach dem Verfahren von Mond das Nickel, das man durch reduzierendes Rösten aus dem Nickeloxydul erhalten hat, durch Darüberleiten von kohlenoxydhaltigen Gasen bei 100° unter 15 Atmosphären Druck in flüchtiges Nickelkarbonyl übergeführt und in dieser Weise von dem Kupfer usw. getrennt werden. Das erhaltene Nickelkarbonyl wird durch Erhitzen auf 200° bei gewöhnlichem Atmosphärendruck in geeigneten Apparaten wieder in Nickel und Kohlenoxydgas zerlegt.

Durch die oben besprochenen Prozesse hat man das Nickel in einen eisenfreien Konzentrationsstein oder eine eisenfreie Konzentrationsspeise übergeführt. Diese Produkte sind noch auf Metall zu verarbeiten. Dies geschieht durch Totrösten der Materialien, durch das man allen Schwefel und alles Arsen aus dem Material entfernt, und durch Reduzieren des erhaltenen Nickeloxyduls zu Metall. Der letztere Prozeß kann entweder in einem im Schachtofen oder Flammofen ausgeführten reduzierenden Schmelzen bestehen, oder er kann in der Weise ausgeführt werden, daß man das Nickeloxydul mit Mehl zu einem Brei verrührt, diesen zu Platten auswalzt und in Würfel schneidet, die in Holzkohlepulver verpackt auf die Reduktionstemperatur erhitzt werden; es findet hierbei ein Zusammenschweißen des reduzierten Nickels, nicht ein Zusammenschmelzen desselben statt, und so erhält man das Nickel dann in Form kleiner Würfel, die in den Handel gehen. Vor der Verarbeitung dieses Nickels zu Nickelwaren muß es, da es noch Kohlenstoff und Nickeloxydul enthält, noch raffiniert werden, was nach Fleitmann durch Zusammenschmelzen desselben mit dem stark reduzierend wirkenden Magnesium geschieht.

Günther und Borchers haben gezeigt, daß der Nickelkonzentrationsstein mit 75% Nickel direkt in schwachsaurer warmer Nickelsulfatlösung auf Reinnickel elektrolytisch verarbeitet werden kann; auch ist den beiden die Verarbeitung des Nickel-Kupfer-Steins unter Zuhilfenahme des elektrischen Stromes auf nassem Wege gelungen.

Das Kobalt, der fast ständige Begleiter des Nickels, hat als Metall in der Technik nur wenig Anwendung gefunden, so daß es nur selten als solches gewonnen wird. Das durch Röstung von Kobalterzen, Speisen und Steinen erhaltene Oxyd wird durch Salzsäure oder Schwefelsäure in Lösung gebracht, und aus dieser wird nach Abscheidung der verschiedenen mit in die Lösung übergegangenen Metalle das Kobalt als Sesquioxyd mit Chlorkalk gefällt, wodurch gleichzeitig die Trennung desselben vom Nickel stattfindet. Das Oxyd wird in ähnlicher Weise wie das Nickeloxydul zu Metall reduziert, das in Würfelform in den Handel geht.

Von viel größerer Bedeutung als die Darstellung des metallischen Kobalts ist die der Kobaltfarben. Die Smalte ist ein hochsiliziertes, durch Kobaltoxydul blau gefärbtes Kaliglas, das wegen der Schönheit und Reinheit seines Farbentons als Farbe sehr geschätzt ist. Die Smalte wird durch Zusammenschmelzen eines Gemenges von reinem Kobaltoxydul oder von gerösteter kobalthaltiger Speise mit reinem Quarzsand und Pottasche in entsprechenden Verhältnissen hergestellt. Das Schmelzen der Beschickung geschieht in Schmelztiegeln oder Häfen. Das Kobaltoxydul bildet mit der Kieselsäure und dem Kali der Pottasche ein Glas, während Nickel, Eisen und Kupfer in eine Speise übergehen und das Wismut metallisch abgeschieden wird. Das Glas wird in Wasser abgeschreckt, gepocht, mit Wasser feingemahlen und schließlich durch Schlämmprozesse in Farbe von verschiedener Körnung geschieden.

URAN UND RADIUM FÜHRENDE ERZE. RADIUMHALTIGE GEWÄSSER. Auf denselben Erzgängen von Schneeberg, Johanngeorgenstadt und Joachimsthal im Erzgebirge, die Wismut-, Kobalt- und Silbererze enthalten, finden sich auch Uranmineralien, insbesondere Uranpecherz oder die Pechblende $(U,Pb^2)^3(UO^6)^2$, eine außerdem an seltenen Elementen reiche Verbindung, die vorzüglich als Träger des Radiums und seiner Zerfallprodukte bekannt geworden ist. Auch auf gewissen Silbererzgängen von Freiberg, Pribram und anderen Orten ist dieses Erz, wenn auch nur untergeordnet, vorgekommen. Ein eigentlicher Abbau darauf besteht zur Zeit nur zu Johanngeorgenstadt und zu Joachimsthal. Am letzteren Orte findet sich die Pechblende innerhalb der Erzgänge immer in besonderen Trümern, die wesentlich aus

einem eigentümlich braunrot gefärbten Braunspat bestehen und daneben gewöhnlich einen tiefblau gefärbten, Bitumen führenden Flußspat sowie etwas Kupferkies enthalten. Durch Zersetzung entstehen aus der Pechblende gelblich gefärbte Uranocker. Die Uranerze, zu denen sich anderwärts auch die sogenannte Uranglimmer, der spangrüne Kupferuranit und der gelbgrüne Kalkuranit gesellen, wurden bisher nur zur Herstellung von Emailfarben und von Uranglas verwendet. Neuerdings verarbeitet man die Rückstände von dieser Fabrikation oder die Erze direkt auf Radium. Es möge darauf hingewiesen sein, daß man seit kurzem auch die stark radiumhaltigen Stollenwässer von Joachimsthal für medizinische Zwecke zu verwerten sucht und dort eine große Kuranstalt daraufhin erbaut. Solche radiumhaltige Gewässer sind indessen durchaus nicht nur an eigentliche Uranerzlagerstätten gebunden, sondern in kristallinen Gebirgen recht verbreitet, so namentlich im Gebiete des großen Granitmassives von Eibenstock und Neudeck im Erzgebirge. Zur Konstatierung des Radiumgehaltes solcher Wässer bedient man sich feinfühliger elektroskopischer Apparate.

14. DAS VORKOMMEN DES MANGANS UND SEINE GEWINNUNG

Die wichtigsten in der Natur vorkommenden Manganverbindungen sind der Braunit (Mn^2O^3) mit 69,6% Mn, der Hausmannit (Mn^3O^4) mit 72,1% Mn, der Manganit (Mn^2O^3+aq) mit 62,5% Mn, der Polianit (MnO^2) mit 63,2% Mn, der Psilomelan (MnO^2+MnO, BaO, K^2O, H^2O) mit 49,2—62,9% Mn, der Pyrolusit (MnO^2) mit 63,2%, das Wad (wesentlich MnO^2+MnO), der Manganspat ($MnCO_3$) mit 47,8% Mn und endlich der Rhodonit ($(SiO^3)^2Mn^2$) mit 42% Mn nebst anderen Kieselmanganerzen.

Unter den Manganerzlagerstätten stehen einige als kontaktmetamorphe Gebilde unmittelbar mit Eruptivmassen in Zusammenhang, wie z. B. die auch Zink enthaltenden Erze im kristallinen Kalkstein von Franklin Furnace und Sterling Hill im nordamerikanischen Staate New Jersey und die Manganerze von Långbans Hytta in der schwedischen Landschaft Wermland. Am letzteren Platze sind besonders Braunit und Hausmannit in beträchtlichen Massen entwickelt.

Verbreitet sind ferner Manganerzgänge. Im Erzgebirge wurden solche früher viel in der Gegend von Schwarzenberg und Aue im Randgebiete der dortigen Granitstöcke abgebaut. Aus dem Harz sind die von Ilfeld im Hornblendeporphyrit, im Thüringer Wald die von Elgersburg und von Ilmenau im Porphyr und Melaphyr bekannt.

Viel bedeutender als bei den bisher genannten ist die Manganerzproduktion bei sehr unregelmäßig lager-, stock- und nestförmigen Lagerstätten, die man wesentlich in kalkigen Gesteinen antrifft. Sie sind in der Hauptsache durch Verdrängung des Kalziumkarbonats durch Manganverbindungen, welche in den meisten Fällen aus Eruptivgesteinen stammen, entstanden. Sehr wichtig sind die Manganlagerstätten solcher Art im devonischen Kalkstein von Rheinpreußen, Nassau und im Kreise Wetzlar in Hessen. Sie bestehen aus einem manganarmen Eisenmulm mit inliegenden Knollen und Putzen von festen Manganerzen. Früher trennte man die letzteren durch nasse Aufbereitung von jenen, um sie für die Chlorbereitung und andere chemische Zwecke zu verwenden, jetzt werden die gesamten eisen- und manganhaltigen Erzmassen dem Eisenhüttenbetrieb überliefert, für den sie so große Bedeutung besitzen. Auch der Zechsteinkalk des Odenwaldes enthält solche Mulme.

Sehr bedeutende schichtige Manganerzlagerstätten, ehemalige Absätze auf dem Meeresgrunde, umschließt das Tertiär von Transkaukasien am Kwirila-Fluß bei Tschia-

tura. Die bis 5 m mächtigen Flöze bestehen wesentlich aus einem oolithischen Pyrolusit (Abbildung 63). Ähnliche Vorkommen liegen im russischen Gouvernement Jekaterinoslaw.

Gewaltige Massen von Manganerz strömen der Eisenindustrie der Kulturländer außerdem aus Brasilien und aus Britisch-Indien zu. Meist kommen diese Erze von Lagern innerhalb von kristallinen Schiefern.

Die Verwendung der Manganerze ist eine ziemlich vielseitige. Seit langen Zeiten schon benutzt man den Braunstein zur Darstellung des Chlors und Chlorkalkes, bei der Glasfabrikation zum Hellfärben des durch Eisen gefärbten Glases, zum Färben von Porzellan und verschiedener Glasuren in den Fayencefabriken, zur Gewinnung von Sauerstoff nach dem Verfahren von Tessié du Motay, für die Darstellung verschiedener Legierungen, z. B. von Mangankupfer und von Manganbronze. Weit größere Massen von Manganerz erfordert die Eisenindustrie bei der Bereitung von Manganstahl und Spiegeleisen, welches letztere 10—20 % Mangan enthält. Man erzeugt gewöhnlich aus den Erzen zunächst Ferromangane mit 20—80 % Mn und setzt diese den verschiedenen Stahlsorten zu. Die Eisenindustrie beansprucht phosphorarme, nicht über 0,1 % Phosphor haltende Manganerze, während die übrige Industrie das möglichste Freisein der Erze von in Salzsäure löslichen Beimengungen verlangt.

Die Hauptmengen des Mangans werden im Eisenhüttenbetriebe in Form von Spiegeleisen und Ferromangan gebraucht, und daher ist die Gewinnung dieser Eisen-Mangan-Legierungen der wichtigste Teil der Mangangewinnungsprozesse. Man erhält sie durch reduzierendes Verschmelzen von manganhaltigen Eisenerzen oder von Mangan- und Eisenerzen im Hochofen. Das Mangansilicid, das auch für hüttenmännische Zwecke in Betracht kommt, stellt man durch reduzierendes Verschmelzen von Manganoxyden mit Sand im elektrischen Ofen dar. Durch Reduktion von reinstem Manganoxyd mit Kohle läßt sich nur ein Kohlenstoff oder Mangankarbid enthaltendes Mangan erzielen. Dagegen liefert das Goldschmidtsche Thermitverfahren ein kohlenstoffarmes Mangan.

15. DAS VORKOMMEN DES CHROMS UND SEINE GEWINNUNG

Das einzige Material, aus welchem man in größerem Maßstab die von der Industrie begehrten Chromverbindungen herstellt, ist der Chromeisenstein (FeO, MgO) (Cr^2O^3, Fe^2O^3). Dieser kommt überall nur innerhalb von Olivingesteinen oder von Serpentinen vor, die aus jenen durch Wasseraufnahme sich gebildet haben. In diesen Gesteinen findet er sich entweder fein eingesprengt oder in größeren Nestern und Klumpen, die als magmatische Ausscheidungen zu betrachten sind. Ihre Anordnung ist eine höchst unregelmäßige und unbeständige. Die Bergwerke auf diesen Lagerstätten sind wegen dieser Unsicherheit im Aushalten der Erze fast immer kleine Betriebe von gewöhnlich nur geringer Lebensdauer. Oft liegen aber viele kleine Gruben nahe beieinander, so daß doch gewisse Gegenden Einfluß auf den Weltmarkt gewinnen können.

Reich an solchen Chromeisenerzlagerstätten ist namentlich Norwegen, der Ural, die Balkanhalbinsel, Kleinasien, Kalifornien und Neukaledonien. Deutschland hat nur sehr spärliche Vorkommen bei Grochau in Preußisch-Schlesien. Größere finden sich in Österreich, und zwar in Steiermark und in Bosnien.

In Neukaledonien hat man auch Chromeisensteinseifen abgebaut, die durch eine Anhäufung des Erzes in Flußschottern bei der Verwitterung und Abtragung des umgebenden weichen Serpentines entstanden sind.



Abbildung 63. Die Manganerzgruben von Tschiatura. Die Lagerstätten bilden Schichten in der steilen Felswand. (Nach einer Photographie von Scherer, Nabholz & Co.)

Aus dem Chromeisenstein, der von den das Chrom enthaltenden Erzen allein als Rohmaterial für die Chromdarstellung in Betracht kommt, kann man dieses Metall durch ein reduzierendes Schmelzen unter Zuschlag von Kohle und Kolophonium oder Pechpulver, als Ferrochrom, das für die Stahlfabrikation von großer Wichtigkeit ist, gewinnen. Will man Reinchrom aus diesem Erz darstellen, so ist namentlich die Trennung des Chroms vom Eisen von Wichtigkeit. Durch oxydierendes Rösten des Erzes mit alkalischen Zuschlägen führt man das Eisen in unlösliches Eisenoxyd und das Chrom in lösliches Chromat über, die durch Laugen mit heißem Wasser voneinander geschieden werden. Man konzentriert die Lösung, führt das Natriumchromat durch Zusatz von Schwefelsäure in das Bichromat über und verschmilzt das beim Eindampfen erhaltene Salz mit Schwefel auf Natriumsulfat und Chromoxyd, die man wieder durch Laugen mit Wasser voneinander trennt. Das Chromoxyd wird durch reduzierendes Rösten oder durch reduzierendes Schmelzen im elektrischen Ofen in Metall übergeführt.

16. DIE LEICHTMETALLE, ALUMINIUM, MAGNESIUM, KALZIUM, IHRE GEWINNUNG UND VERWERTUNG

Als Rohstoffe zur Gewinnung dieser Leichtmetalle sind in erster Linie zu nennen für das Aluminium Beauxit und Kryolith, für Magnesium die unter den Kalisalzen weiter unten angeführten Magnesiasalze, für Kalzium vorzüglich der Flußspat.

Beauxit ist ein unreiner Hydrargillit ($Al[OH]_3$), immer mit viel Eisenoxyd, Kaolin, Kieselsäure, Titansäure und anderen Beimengungen. Er findet sich oft in Knollen und rundlichen Konkretionen innerhalb verschiedener jüngerer Sedimente oder in unregelmäßigen Nestern im Kalkstein oder endlich als lateritartiges Zersetzungsprodukt

gewisser Eruptivgesteine. Südfrankreich, Arkansas, Alabama und andere exportieren bedeutende Mengen eines Beauxits von 50—60% Al_2O_3. Der Kryolith, dessen Zusammensetzung mit $6NaFl + Al_2Fl_6$ bezeichnet werden kann, ist ein grobkristallines weißes, mitunter auch dunkelgefärbtes und vielfach mit Eisenspat gemengtes Gestein, das bei Ivigtut in Grönland einen gewaltigen Stock inmitten von granitischen Gesteinen bildet, sonst aber nirgend in der Welt bis jetzt in bauwürdiger Menge angetroffen worden ist. Es wurde früher auch zur Sodafabrikation benutzt und dient noch zur Herstellung von Milchglas. Bis mit 1901 wurden von Ivigtut 307 730 t dieses Gesteins ausgeführt. Flußspat (Fluorkalzium) kommt als Füllung von zum Teil ziemlich mächtigen Gangspalten vor, so z. B. bei Ölsnitz im sächsischen Vogtland.

Die erfolgreiche Lösung der Frage der Aluminiumdarstellung ist erst vor etwa zwanzig Jahren gelungen, als man die zum Schmelzen der zu elektrolysierenden Aluminiumverbindungen erforderliche Wärme durch elektrische Energie im Innern der Schmelzgefäße, und zwar mit Hilfe eines Lichtbogens, erzeugte. Héroult hat zuerst die Grundzüge dieser Arbeitsweise in seinen Patenten zum Ausdruck gebracht. Er bezeichnete seine Erfindung als ein Verfahren der Herstellung von Aluminiumlegierungen durch die erhitzende und elektrolytische Wirkung eines elektrischen Stromes auf das Oxyd des Aluminiums und das Metall, mit welchem Aluminium legiert werden soll. In einen eisernen Kasten, der im Innern mit Kohlewänden ausgesetzt ist, an die die Stromabführung angeschlossen ist, ragt die Anode hinein, die aus einer Reihe Kohleplatten besteht, welche durch ein Rahmenstück zusammengefaßt sind. Zur Einleitung des Betriebes werden auf den Boden des Kastens Kupfergranalien gebracht und sodann darauf die Mischung von Tonerde und Kupferoxyd. Die die Anode bildenden Kohlestäbe werden so weit gesenkt, bis ein Lichtbogen entsteht, und sodann ein wenig gehoben, wobei die Schmelzung und die Elektrolyse vor sich geht. Das geschmolzene Metall wird am Boden des Kastens abgestochen, während von oben dem Ofen von neuem Beschickungsmaterial zugeführt wird. Dieses Verfahren ist dann später in Neuhausen am Rhein von Kiliani umgeändert und für die Darstellung von reinem Aluminium verwendet worden, während zu gleicher Zeit noch Minet und Hall ganz ähnliche Verfahren einführten. Das Gemisch, das man jetzt als Elektrolyten für die Darstellung des Aluminiums verwendet, besteht am vorteilhaftesten aus einem Gemenge von Kryolith mit 10% Tonerde. Während Minet eine Zerlegung des Fluoraluminiums in Fluor und Aluminium durch die Elektrolyse annimmt, wobei das Fluor mit der im Bade vorhandenen Tonerde in Reaktion tritt und unter Freiwerden von Sauerstoff mit dieser neues Fluoraluminium bildet, spielt nach den Ansichten anderer das Fluoraluminium nur die Rolle eines Lösungsmittels, und es wird die in ihm gelöste Tonerde direkt elektrolytisch zersetzt. Der Gehalt des Elektrolyten an Aluminium wird durch Zusatz von Beauxit und der Gehalt an Fluor durch Zuschlag von Kryolith bzw. basischem Aluminiumfluorid auf gleichbleibender Höhe erhalten. Der natürliche Beauxit muß vor seinem Gebrauch gereinigt werden. Man zerkleinert ihn und schmilzt ihn mit Soda im Flammofen; das erhaltene Natriumaluminat laugt man mit Wasser aus; durch Einleiten von Kohlensäure in die Lösung bildet man Aluminiumhydroxyd, das man durch Glühen in Tonerde überführt. Man schließt den unreinen Beauxit auch mit Natronlauge auf, indem man ihn unter einem Druck von 5—7 Atmosphären in eisernen Kesseln mit diesem Lösungsmittel behandelt.

Die Gewinnung des Magnesiums beruht immer noch auf den schon von Bunsen angegebenen Grundsätzen. Während Bunsen geschmolzenes Chlormagnesium elektro-

lysierte, um das Magnesium zu erhalten, geht man jetzt von dem Karnallit, $MgKCl_3 + 6H_2O$, aus, den man unter Zusatz von Kochsalz, Flußspat usw. in gußstählernen Gefäßen elektrolysiert. Der Tiegel selbst bildet die Kathode, er ist also mit dem negativen Pol verbunden, während die Kohleanode in einem durch den Deckel des Gefäßes bis an den Boden desselben reichenden zylindrischen Gefäße steckt, das mit einem Ableitungsrohr für das bei der Elektrolyse entstehende Chlor versehen ist. Die Elektrolyse wird in der Atmosphäre eines reduzierenden Gases, z. B. Leuchtgas, ausgeführt. Das bei der Elektrolyse entstehende Magnesium sammelt sich am Boden des Tiegels an, während das an der Anode sich entwickelnde Chlor durch das Abzugsrohr abgeführt wird.

Das Kalzium wird ebenfalls durch Elektrolyse dargestellt. Elektrolysiert wird namentlich das Kalziumchlorid, doch auch andere Kalziumverbindungen, wie der Flußspat, finden Verwendung zur Kalziumdarstellung. Die Elektrolyse wird in einem Ofen ausgeführt, dessen Kohlenwandungen mit dem positiven Pol der Stromquelle leitend verbunden sind, während ein eiserner Stab, der in die Schmelze hineinragt, als Kathode dient. Ruff und Plato haben gefunden, daß sich für diesen Prozeß am besten eine Schmelze eignet, die aus etwa 83,5% $CaCl_2$ und 16,5% CaF_2 besteht. Die Verfahren der Kalziumelektrolyse sind von den Elektrochemischen Werken Bitterfeld weiter ausgestaltet worden.

Das Aluminium findet in den verschiedensten Industriezweigen wegen seiner Leichtigkeit, seiner Beständigkeit gegen oxydierende Einflüsse und wegen seiner Farbe eine vielseitige Verwendung. Das Aluminium und seine Legierungen werden namentlich in der Feinmechanik an Stelle von Bronze, Neusilber usw. verwendet. Die verschiedenartigsten Gegenstände stellt man in immer wachsendem Maße aus dem Aluminium her, zumal sein Preis in dem letzten Jahrzehnt außerordentlich gefallen ist. Die Entwicklung der Luftschiffahrt und der Motorenindustrie hat dem Aluminium ein ganz neues Anwendungsgebiet erschlossen, gegen das die Gebiete der bisherigen Verwendung in der Zukunft wohl stark zurücktreten werden. Von größter Wichtigkeit ist auch die Anwendung des Aluminiums zur Herstellung schwer schmelzbarer Metalle aus ihren Oxyden nach dem von Goldschmidt erfundenen Thermitverfahren. Zu dem genannten Zwecke wird das betreffende Metalloxyd mit Aluminiumpulver gemischt, und das Gemenge in einen mit Magnesia ausgekleideten Tontiegel gebracht. Das Gemisch wird dann durch eine Zündkirsche zur Entzündung gebracht; diese besteht aus einem Gemenge von Aluminiumpulver und Bariumsuperoxyd, das mit Hilfe eines Klebestoffes zu einer Kugel geformt ist und in das ein Stückchen Magnesiumband hineinragt, das entzündet wird. Die Reaktionswärme bringt die Massen zum Schmelzen, das Aluminium vereinigt sich mit dem Sauerstoff des Oxyds zu Tonerde, während das betreffende Metall abgeschieden wird. Neue Mengen des Gemisches werden zugesetzt und so werden in verhältnismäßig kurzer Zeit beträchtliche Mengen von reinen Metallen aus ihren reinen Oxyden erzeugt.

Das Magnesium findet zur Herstellung des Magnaliums, einer Aluminiummagnesiumlegierung, und des Elektrons, einer Legierung von Magnesium mit Aluminium und anderen Metallen, Verwendung. Magnesium wird sodann dem Nickel und Kobalt bei der Raffination zugesetzt. Schließlich findet das Magnesium in großem Maßstabe in der Feuerwerkerei und in dem Betriebe des Photographen als Blitzpulver Anwendung. Für das Kalzium ist gegenwärtig ein größeres Anwendungsgebiet noch nicht gefunden worden.

17. DIE LEGIERUNGEN DER METALLE UND LEICHTMETALLE

Außer den reinen Metallen spielen in der Technik auch die Legierungen eine überaus wichtige Rolle. Gemische jeglicher Art, welche durch Vereinigung irgendwelcher Metalle mit anderen Metallen oder mit Nichtmetallen in beliebiger Anzahl und in beliebigen Mengenverhältnissen entstehen, bezeichnet man allgemein als Legierungen. Über die Natur dieser Gemische haben erst die Forschungen der letzten zehn Jahre Aufschlüsse gebracht. Während man früher der Ansicht war, daß die Metalle und ihre Gemenge aus dem Schmelzflusse amorph erstarrten und daher eine bestimmte Struktur nicht aufweisen könnten, hat es sich erst allmählich mit der Entwicklung der Metallmikrographie herausgestellt, daß das Kleingefüge der Metalle und ihrer Legierungen kristallinischer Natur ist und eine weitgehende Ähnlichkeit mit dem der Eruptivgesteine aufweist. Große Schwierigkeiten bereitete jedoch die Feststellung der einzelnen Strukturelemente. Die petrographischen und die gebräuchlichen chemischen Methoden erwiesen sich hier als nicht anwendbar. Erst in neuester Zeit brachte die Entwicklung der physikalischen Chemie, namentlich die der Lehre von den heterogenen Gleichgewichten, wesentliche Fortschritte in der Erkenntnis des wahren Wesens der Metallegierungen. Es wurden neue Methoden ausgearbeitet, die sich auf die Beobachtungen der thermischen Erscheinungen beim Erhitzen und Abkühlen der Metalle und ihrer Legierungen gründeten. Eine wertvolle Ergänzung einer solchen thermischen Untersuchung bildet dann die mikroskopische Untersuchung der metallischen Schlifffläche. Auf Grund dieser Untersuchungen kann man die Metallegierungen in folgender Weise gruppieren. Die Metallegierungen mischen sich im geschmolzenen Zustande nicht in allen Verhältnissen, sie trennen sich infolgedessen nach ihren spezifischen Gewichten in Schichten, wie dies bei Öl und Wasser der Fall ist, oder sie mischen sich in allen Verhältnissen, wie dies Wasser und Alkohol tun. Während der zweiten Gruppe die Mehrzahl der Legierungen angehören, mischen sich Legierungen des Bleies mit Zink, des Nickels mit Silber, des Silbers mit Eisen usw. nicht in allen Verhältnissen. Man kann auch die Legierungen bezüglich des kristallinen Zustandes in verschiedene Gruppen teilen. Die Metalle scheiden sich rein aus dem Schmelzflusse ihrer Gemenge aus; das Erstarrungsprodukt besteht aus einem heterogenen Gemenge der elementaren Bestandteile; so verhalten sich die Blei-Zinn-, die Zinn-Wismut-, die Blei-Wismut-Legierungen. Die Metalle können aber auch miteinander chemische Verbindungen eingehen, deren Anzahl die Zahl der Elementarbestandteile in entsprechender Weise vergrößert. Das gilt z. B. von den Blei-Magnesium-, den Zink-Magnesium-, den Gold-Zink-, den Silber-Zink-Legierungen. Schließlich bilden die Metalle isomorphe Gemische; in diesem Falle ist das Erstarrungsprodukt ein homogenes wie das der reinen Metalle selbst. Das ist der Fall bei den Nickel-Eisen-, den Nickel-Kupfer-, den Kadmium-Magnesium-Legierungen und vielen anderen. Alle diese verschiedenen Möglichkeiten hönnen natürlich miteinander in Kombination treten.

Die innere Struktur der Metallegierungen kann also eine sehr verschiedenartige sein. Die wissenschaftliche Feststellung derselben ist nun von größter praktischer Bedeutung, da die physikalischen und mechanischen Eigenschaften der Metallegierungen im wesentlichen von dieser Struktur abhängen. Auf diese Eigenschaften übt ferner noch die Art der Abkühlung aus dem Schmelzfluß einen Einfluß aus.

Die genaue Kenntnis aller für einen praktischen Fall in Betracht kommenden Verhältnisse ermöglicht die Auswahl einer Legierung von gewünschten Eigenschaften und ergibt auch die Art, wie diese Legierung herzustellen ist. Außer den Eisenlegierun-

gen, die das ganze gewerbliche Leben beherrschen, sind für den Menschen namentlich die verschiedenen Kupferlegierungen und von diesen wieder die Bronzen, Kupfer-Zinn-Legierungen, und die Kupfer-Zink-Legierungen wie Tombak, Rotguß, Messing, Gelbguß, Deltametall usw. von größter Wichtigkeit. Von den Nickellegierungen finden namentlich die Nickel-Kupfer-Legierungen und die Nickel-Kupfer-Zink-Legierungen wegen ihrer schönen weißen Farbe und ihrer großen Härte weitgehende Verwendung. Für die Technik spielen dann weiter noch die Zinn-, die Blei-, die Zink-, die Aluminium-, die Quecksilber-, die Gold- und die Platin-Legierungen eine mehr oder minder wichtige Rolle. Ein oft genanntes Erzeugnis der neueren Technik ist das von Mach erfundene Magnalium, eine Legierung von Aluminium mit 10—25% Magnesium, die bei einem spezifischen Gewicht von nur 2—2,5 noch leichter als Aluminium ist, dabei aber weniger weich als dieses und politurfähig ist. Magnesiumreiches Magnalium dient als Spiegelmetall. Das Elektron, welches auf der „Ila" in Frankfurt ausgestellt war, ist eine Magnesiumlegierung von silberweißer Farbe mit 88—99,5% Magnesium und 0,5—12% fremden Metallen, welche sich gießen, pressen, walzen, ziehen, polieren, löten und schweißen läßt. Das spezifische Gewicht schwankt zwischen 1,75 bis 2 bei einer Zugfestigkeit von etwa 18 kg auf 1 qmm für das gegossene Metall.

18. DAS VORKOMMEN DES SCHWEFELS UND SEINE GEWINNUNG

Vielleicht die älteste Gewinnungsweise des Schwefels ist die auf seinen Lagerstätten an Vulkanen, wo ihn die Natur gewöhnlich in ziemlich reinem Zustande darbietet. Gewöhnlich sind es Vulkane, die sich im Zustande nur ganz geringer Tätigkeit befinden, im Solfatarenzustande, wie man nach dem wegen seines Schwefels Solfatara genannten kleinen Vulkan bei Pozzuoli unweit Neapel diese Phase vulkanischer Eruptionen bezeichnet. Der Schwefel findet sich hier in Höhlungen und auf Klüften der Kraterwände oder wenig abseits davon. Auf zahlreichen Antillen-Vulkanen, die danach zum Teil auch Soufrières genannt werden, auf vielen anderen in Japan, auf den Philippinen und in Holländisch-Indien sammeln die Eingeborenen seit undenklichen Zeiten den abgesetzten Schwefel ein. Seine Entstehung erklärt man sich gewöhnlich aus der Zersetzung der schwefligen Säure und des Schwefelwasserstoffes, die von den Kratern und Solfatarenspalten ausgehaucht werden. Doch steht es jetzt fest, daß ein Teil des vulkanischen Schwefels auch direkt als freier Schwefeldampf ausgestoßen wird. Für die Weltproduktion spielt der vulkanische Schwefel ganz und gar keine Rolle. Höchstens einige Lagerstätten dieser Art im westlichen Nordamerika waren von einiger Bedeutung.

Alle bedeutenden Schwefellagerstätten der Erde scheinen vielmehr aus der Reduktion von Schwefel aus dem als Gips oder Anhydrid gesteinsbildenden schwefelsauren Kalzium entstanden zu sein. Die Reduktionsmittel sind bituminöse Substanzen fester, flüssiger oder gasförmiger Art, wie sie so gewöhnlich den Gips- und Anhydritlagern beigemengt sind oder nahe benachbart vorkommen. Bei ihrer Einwirkung auf das Kalziumsulfat entstehen zunächst kohlensaurer Kalk, der immer neben dem Schwefel dieser Lagerstätten sich findet, und Polysulfide des Kalziums. Letztere zerfallen in der atmosphärischen Luft sehr schnell unter Bildung von Schwefel und Schwefelwasserstoff. Auf diese Weise müssen vor allem auch trotz der großen Nähe des größten Vulkans von Europa, der eine vulkanische Entstehung nahezulegen scheint, die sizilianischen Schwefellagerstätten erklärt werden. Lange Zeit waren sie die Hauptlieferanten der Welt und haben noch 1900/1901 eine Jahresproduktion von etwa 600000 t aufweisen können.

Sizilien besitzt gegen 700 meist allerdings nur kleine und vielfach nur zeitweise in Betrieb befindliche Schwefelgruben. Sie befinden sich fast alle im Süden der Gebirgskette, die von Messina bis Marsala die Insel durchzieht in einer Zone von 160 km Länge und 90 km größter Breite. Die Hauptorte sind Racalmuto, Caltanisetta, Grottacalda, Muglia, Sommatino, Aragona, Montedore, Gibellina und jenseits der Berge bei Palermo Lercara. Sämtliche Lager sind dem oberen Miocän zwischengeschaltet. Sie bestehen aus sehr schwefelreichen Kalken, die mit Gips, schwarzem Schieferton und feinkörnigem Glimmersandstein wechsellagern, vielfach auch von Mergeln, Diatomeenschiefern mit Braunkohlenschmitzen, bituminösen Tonen und Steinsalzstöcken unterlagert werden. Das schwefelführende Gebirge ist gewöhnlich tektonisch stark gestört.

Meist ist der Schwefel von gelbbraunem Aussehen und fein im Kalkstein eingesprengt, erscheint aber auch in Nestern, Linsen oder quer zur Schichtung verlaufenden Äderchen. In manchen Gruben, wie bei Gessolungo-Gaetani unweit von Caltanisetta, zeigen die Erze auf dem Querbruch eine eigentümliche Bänderung (Abbildung 64). Die Bänder bestehen abwechselnd aus grauem bituminösem Mergelkalk, aus weißem Kalzit mit Drusenräumen und aus gelbem Schwefel. Hierbei scheinen Schwefel und Kalzit den Platz eingenommen zu haben, den früher durchweg der graue Mergelkalk innehatte. Über diesen gebänderten Schwefelerzen lagert ein bituminöser Gips. Ihre Mächtigkeit beträgt 6,5 m einschließlich einer 0,5 m mächtigen Mergelbank in ihrer Mitte.

Abbild. 64. Gebändertes Schwefelerz von Gessolungo-Gaetani. (Nach einer Photographie von K. Reimann, Freiberg.)

Die große Regelmäßigkeit solcher auf dem Querbruch gebänderter Schwefellagerstätten, wie sie zum Beispiel in der Grube Gessolungo-Trigona auf 200 m Länge zu übersehen ist, hat für neuere Forschungen Veranlassung zu der Auffassung gegeben, daß solche Lager ursprüngliche Sedimente sind. Die Reduktion des Kalziumsulfats erfolgte nach dieser Hypothese nicht an schon vorhandenen Gips- oder Anhydritlagen, sondern an der im Wasser eines seichten Beckens gelösten Verbindung. Die bei solchen gebänderten Schwefelerzen oft gut erkennbare Kreuzschichtung und andere Gründe sprechen ebenfalls für ursprüngliche Ausscheidung des Schwefels im Wasser von Flachseen.

In manchen Gegenden, wie zum Beispiel bei Conejos in Mexiko, sind übrigens ganz im Gegenteil auch Schwefelgänge im Kalkstein bekannt, deren Entstehung auf die Tätigkeit schwefelwasserstoffhaltiger Quellen zurückgeführt wird.

Bei Cianciana auf Sizilien wird unter anderem auch ein derber blätteriger rötlichgelber Schwefel gewonnen, der infolge von explosiv entweichenden Gasen mitunter plötzlich in großen Blöcken aus dem Lager herausgeschleudert wird. Nebenbei liefert

dieser Ort herrliche Kristallgruppen von hellgelbem oder bernsteinfarbigem Schwefel, auch große Drillinge von Aragonit mit eingewachsenen Schwefelkristallen und prächtige Zölestinkristalle. Abbildung 65 gibt ein Bild einer solchen Gruppe von Schwefelkristallen, die einer Kruste von kristallinem Kalkspat aufsitzen.



Abbildung 65. Gruppe von Schwefelkristallen von Cianciana. (Nach einer Photogr. von K. Reimann, Freiberg.)

Das Nebeneinander von Schwefel und Bitumen illustriert ein Vorkommen auf der größten Grube Siziliens, Trabonella. Hier hatte man auf dem zweiten Lauf gasförmige Kohlenwasserstoffe in ein Rohr geleitet und zum Beleuchten benutzt.

Der schwefelhaltige Kalkstein Siziliens muß mindestens 8 % Schwefel enthalten, um bauwürdig zu sein. Solche mit über 40 % werden ohne weiteres als unreiner Schwefel in den Handel gebracht. Man versteht unter armen Erzen solche von 12—15 %, mittleren solche von 15—20 %, reichen solche von 20—40 % Schwefelgehalt. Der Bergbau ist größtenteils ein unterirdischer mittelst flacher Schächte, in welche eingehauene Treppen hinabführen. Der tiefste Schacht der Insel ist 250 m tief. Man wendet Weitungsbau an, der mit häufigen Unfällen verbunden ist. Noch immer werden auf manchen Gruben die schwefelhaltigen Massen auf dem Rücken von Menschen herausbefördert, deren Bezahlung eine minimale ist. Auch leiden die Grubenarbeiter sehr unter giftigen Gasen, Schwefelwasserstoff und Kohlensäure. Selbst Schlagwetterexplosionen sind dort bekannt.

Um den Schwefel von anhängendem Gestein und Gangarten zu befreien, wurde das geförderte Haufwerk bis vor kurzem noch ausschließlich in Haufen, sogenannten Calcaroni, oder auch in Zellenöfen durch teilweises Verbrennen des Schwefels einer Temperatur von 115° ausgesetzt, wobei der Schwefel in geläutertem Zustande sich ansammelte. Jetzt wendet man zur Reinigung überhitzten Wasserdampf an. Vor wenigen Jahren noch erzeugte Sizilien jährlich etwa 500000 t Schwefel, dessen Hauptmasse zum Schwefeln der Weinberge exportiert wurde. Im Jahre 1900 standen noch 681 Schwefelgruben mit 31500 Arbeitern in Betrieb, die etwa 340000 t schwefelreiches Haufwerk förderten.

Seit 1902 aber ist Sizilien ein mächtiger Konkurrent im nordamerikanischen Staate Louisiana erwachsen, der die Industrie der ohnedies so armen Insel schwer geschädigt hat. In Louisiana kannte man schon seit vielen Jahren zwischen Kalksteinbänken und Gipslagern eingeschaltet höchst ausgedehnte und 45—75 m dicke, sehr schwefelreiche Gesteinszonen. Sie ruhen unter einer mächtigen Decke von Ton und von Schwimmsand, jenem für alle Grubenbetriebe so gefährlichen, mit Wasser getränkten, höchst beweglichen und allen künstlichen Hohlräumen sofort zuströmenden feinen Sand. Dieser Schwimmsand verhinderte den Abbau, bis neuerdings Hermann Frasch sein ebenso sinnreiches wie billiges Verfahren hierzu erfand. Man schlägt bis zum Schwefellager ungefähr 240 m tiefe Bohrlöcher von 25 cm Durchmesser, die man verrohrt. In ein solches Rohr werden nacheinander drei weitere Rohre von 15, von 7,5 und von 2,5 cm immer eins in das andere eingeführt. Durch das zweite Rohr preßt man unter hohem Druck in die Lagerstätte hinein überhitzten Wasserdampf, den

ein Dampfkessel von 13500 Pferdestärken erzeugt. Die Dampfzufuhr muß um so mehr gesteigert werden, um so größere Mengen von unterirdischen kühlen Gewässern zuströmen. Schließlich ist die ganze Schwefelzone weit um das Rohrende herum so erhitzt, daß der Schwefel flüssig wird. Man vermehrt seine Beweglichkeit noch, indem man ihm durch Einpumpen von komprimierter Luft mittelst des vierten Rohres Luftblasen beimischt. Jetzt steigt er rapid im ersten und dritten Rohr empor und kann in großen Tanks angesammelt werden, die 75000—150000 t Schwefel enthalten. Diese Tanks bestehen aus riesigen Holzkästen, in denen der Schwefel unmittelbar nach dem Ausfließen erstarrt, um später nach Bedarf mit Dampfschaufeln gebrochen und verladen zu werden. Dieses Rohprodukt enthält über 99% Schwefel. Die tägliche Maximalleistung eines solchen Schwefelbrunnens kann bis 550 t gesteigert werden. 1907 lieferten die sieben Rohrbrunnen Louisianas gegen 300000 t. Infolge davon war die Produktion Siziliens damals schon auf 426972 t herabgegangen, und Vorräte von etwa 600000 t hatten sich auf der Insel angehäuft, so daß die Regierung mit der Gründung eines Zwangs-Syndikats zu helfen versuchte.

Andere minder bedeutende Schwefellagerstätten kennt man in der Romagna zwischen Ravenna und Rimini am Apennin, auf dem Isthmus von Korinth, auf der griechischen Insel Milos, in Südspanien, bei Marseille, bei Swoszowice in Galizien, bei Czarkow in Russisch-Polen und anderwärts.

Gewisse Schwefelvorkommen sind anscheinend in anderer Weise, nämlich durch Thermaltätigkeit, entstanden. Hierher gehören die Schwefellager von Thermopolis im nordamerikanischen Staate Wyoming. Sie befinden sich an der Berührung zwischen einem aufgelagerten Travertin, einem Kalksinter thermaler Entstehung und unterlagerndem Kalkstein.

Die Raffination des Rohschwefels beruht auf einer Sublimation und Destillation desselben. Der Schwefel wird eingeschmolzen und dann in langen gußeisernen Retorten der Destillation beziehentlich der Sublimation unterworfen. Die letztere führt zu dem unter dem Namen Schwefelblume im Handel geführten Schwefel, während man durch die Destillation Block- oder Stangenschwefel erhält. Als Vorlagen für die verwendeten Retorten dienen gemauerte Kammern, die man auf mäßiger Hitze hält, wenn man Schwefelblumen erhalten will, und die man auf über 114° erhitzen muß, wenn der Schwefel im flüssigen Zustande gewonnen werden soll.

19. NICHTMETALLISCHE MINERALIEN UND GESTEINE ALS ROHMATERIALIEN DER TECHNIK

BAUMATERIALIEN UND DEREN GEWINNUNG DURCH STEINBRUCHSBETRIEB. Schon auf den tiefsten Stufen der Kultur bedarf der Mensch der Gesteine zum Aufbau von Wohnstätten oder bei der Bestattung seiner Toten. Im Verlauf der aufstrebenden geschichtlichen Entwicklung steigert sich der Gebrauch dieser Rohmaterialien ganz gewaltig, und die moderne Technik wendet sehr vollkommene Methoden an, um Gesteine für den Häuserbau, für die Ausschmückung von Innen- und Außenseiten unserer Wohnungen, für Denkmäler, für Bauwerke zu technischen Zwecken, für die Herstellung der verschiedenartigsten Verkehrswege, für Brücken und viele andere Anlagen zu gewinnen. Man faßt gewöhnlich derartige Gewinnungsarbeiten unter der Bezeichnung der Steinbruchsindustrie zusammen, indem man diesen Begriff nicht auf die bei weitem vorwaltenden offenen Tagebaue beschränkt, sondern auch auf die unterirdischen Abbaue ausdehnt, wie sie namentlich zur Gewinnung von Kalk-

stein, aber auch von Sand, Dachschiefer und anderen Materialien an manchen Orten in Gebrauch sind. Daß diese schwierigeren unterirdischen Bauten schon im klassischen Altertum verbreitet waren, lehren die von den ersten Christen als Versammlungsorte benutzten Katakomben, jene unterirdischen Steinbrüche im vulkanischen Tuff aus der Zeit des alten Roms. Aus noch früherer Periode rühren die unterirdischen Räume mit den Tempeln von Elephantine her, sowie die sogenannten Labyrinthe auf Kreta und bei Syrakus. Kaum scharf zu trennen von den Baumaterialien sind die Gesteine und Mineralien, welche dem Bildhauer zur Herstellung seiner Kunstwerke dienen, wie die Beispiele des Marmors, des Gipses und des Serpentins zeigen.

Was die gewöhnlichen Bausteine anlangt, so hat man in erster Linie weichere und härtere Gesteine auseinanderzuhalten. Die Methoden zur Prüfung nicht nur dieser, sondern auch vieler anderer Eigenschaften des Baumaterials, zum Beispiel des Abnutzungsgrades, der sogenannten Verbandsfestigkeit, der Druckfestigkeit im trockenen oder nassen Zustande, des Gewichtes, der Dichte, der Frostbeständigkeit, des Widerstandes gegen Rauchgase, der Wasserdurchlässigkeit, der Leitungsfähigkeit gegenüber Luft und Wärme, der Feuerfestigkeit, der Beschaffenheit der Bruchflächen, der Farbe und Politurfähigkeit, sind in neuerer Zeit im hohen Grade vervollkommt worden. Materialprüfungsämter führen sie systematisch durch und ermöglichen so dem Baumeister einen scharfen Vergleich und eine entsprechende gute Auswahl des zu verwendenden Baumaterials. Welche Gegensätze zum Beispiel allein in der Druckfestigkeit innerhalb einer Reihe von chemisch gleichartigen Gesteinen möglich sind, lehrt ein Vergleich zwischen dem festen Marmor und der milden, leicht zwischen den Fingern zerreiblichen Kreide, die beide Kalziumkarbonat sind. Um die Druckfestigkeit zu prüfen, werden Würfel der zu untersuchenden Gesteine, gewöhnlich solche von 7 cm Kantenlänge, maschinell mittelst hydraulischen Druckes bis zum Bruch belastet. Vor dem Bruch sieht man Systeme von diagonal zur Druckrichtung verlaufenden Klüften, die sogenannten Mohrschen Spältchen, erscheinen. Schließlich, beim Erreichen einer bestimmten Belastung, bildet sich aus dem Würfel durch Abbröckeln der äußeren Teile in der mittleren Höhe ein Doppelkegel. Die so ermittelte „Würfelfestigkeit" beträgt, um einige extreme Fälle herauszugreifen, für viele Kalksteine und Dolomite 200—800 kg pro qcm, für die Granite 800—2500 kg, für die Basalte 3000—5000 kg. Solche Ermittelungen werden bei modernen Gutachten durch mikroskopische Feststellung der inneren Struktur wirksam unterstützt. Ein Marmor wird sich gegenüber zerstörenden Einflüssen sehr verschieden verhalten, je nachdem die Kalzitindividuen, die ihn zusammensetzen, in allen Richtungen polygonale Schnitte mit geradlinigen Seiten zeigen, oder ob sie mit gebogenen und geschlängelten Grenzlinien untereinander verbunden sind. Ein Granit mit tadellos frischen und unversehrten Feldspaten wird viel widerstandsfähiger sein als ein anderer, der dem bloßen Auge kaum sichtbare Druckzonen aufweist und den Beginn der Zersetzung des Orthoklases zu Muscovit und anderen sekundären Mineralien erkennen läßt. Die nach der Struktur und der mineralogischen Zusammensetzung so mannigfaltige Abnutzbarkeit wird auf sehr verschiedene Weise festgestellt, unter anderem dadurch, daß man Gesteinsplatten von bekanntem Gewicht gegen rotierende Schmirgelscheiben von bestimmter Umdrehungszahl preßt und danach den Gewichtsverlust ermittelt, oder dadurch, daß man das Probestück eine gewisse Zeit einem Sandgebläse aussetzt. Auch hier ist der Einfluß der inneren Struktur noch größer als der von der Härte der Gemengteile. Man denke an den extremsten Fall von Zähigkeit eines Gesteins, das der Nephrit darbietet. Hier sind die Individuen von Hornblende zu großer Winzigkeit

herabgesunken, dabei aber unter sich förmlich verfilzt, während sie bei manchen anderen Hornblendegesteinen größere aneinandergelagerte Körner bilden, die leichter voneinandergerissen werden können. Hierauf beruht die bekannte häufige Verwendung des Nephrites zur Herstellung von hauenden, stechenden und schneidenden Waffen und Werkzeugen durch prähistorische Völker und einige Eingeborenenstämme der Jetztzeit, wie die Maoris und Papuas.

Für den Abbau von Bausteinen und namentlich für die Gewinnung großer Monolithe kommt es natürlich in erster Linie darauf an, ob der Fels viele oder nur wenig Klüfte hat. So besteht der große Vorsprung der schwedischen Granitindustrie vor derjenigen anderer Länder nicht nur in der schönen Farbe vieler nordischer Gesteine, sondern namentlich auch in der Kluftarmut der dortigen Gesteinsmassen.

Heben wir jetzt aus der ungeheuren Fülle von Bausteinen einige wichtigere Beispiele heraus.

Unter den weicheren Felsarten seien zunächst die Kalksteine, die Sandsteine und vulkanischen Tuffe angeführt. Die Kalksteine in ihren dichten Abarten spielen nebenbei auch eine große Rolle als Material zur Mörtelbereitung und zur Herstellung von Düngekalk, ganz abgesehen von ihrer Benutzung als Karbonatgestein zur Erzeugung von Kohlensäure in der chemischen Industrie, als Zuschläge bei allerlei Schmelzprozessen und zu anderen Zwecken. Als Muster großartiger, mit allen modernen Mitteln der Technik betriebener Kalksteinbrüche können die fiskalischen Werke von Rüdersdorf bei Berlin bezeichnet werden. In dem sonst an festem Gestein armen Diluvialgebiet der norddeutschen Tiefebene erhebt sich hier ein bedeutender Hügel von Muschelkalk, dessen Abbau durch die Möglichkeit der Abfuhr zu Wasser auf der nahen Spree und ihren Kanälen noch erleichtert wird und bei der Nähe der Großstadt doppelt einträglich ist. Während der Alvenslebenbruch bis zum Wasserspiegel reicht, hat man außerdem südwestlich davon Tiefbaue angelegt, aus deren Sohlen die beladenen Eisenbahnwagen durch mächtige Fördermaschinen auf einer unter 30° geneigten schiefen Ebene emporgezogen werden. Die zusitzenden Wassermassen werden mittelst starker Pumpen gehoben, die über besonderen Schächten stehen. Es braucht kaum erwähnt zu werden, daß auch großartige Einrichtungen zum Brennen des Kalksteins an Ort und Stelle sich befinden. Gewisse Kalkofentypen, die hier gebräuchlich sind, eine Art von Rumfordöfen mit langer Flamme, haben danach die Benennung Rüdersdorfer Kalköfen erhalten. Hier möge auch der seltenen Abart des dichten Kalksteins gedacht werden, die man als lithographischen



Abbildung 66. Gesamtansicht eines Marmorbruches von Carrara. (Nach einer Phot. von V. Valenti zu Carrara.)

Stein benutzt. Es ist ein bankig geschichteter, licht gelblichgrauer Kalkstein von ungemein feinkristalliner und dabei ganz gleichmäßiger, dem bloßen Auge völlig dicht erscheinender Struktur. Er ist bei Solenhofen und Eichstädt in Bayern dem Weißen Jura eingeschaltet und wird dort in ausgedehnten Brüchen gewonnen. Um das wertvolle Material noch mehr auszunützen, werden oft die geeigneten Bänke in parallele schmale Tafeln zersägt und diese auf so dicke Platten von minderwertigem Stein aufgekittet, wie sie der Lithograph braucht. Die Steinbrüche sind auch bekannt als Fundstätte herrlich erhaltener Tierreste der Jurazeit. Sie lieferten unter anderem die berühmten beiden Exemplare von Archaeopteryx, dem ersten Vogel der Erdgeschichte. Bis jetzt ist es nicht gelungen, in anderen Ländern einen Stein aufzufinden, der dem Solenhofener an Brauchbarkeit nur einigermaßen nahekommt.



Abbildung 67. Das Absägen von Marmorblöcken bei Carrara. (Nach einer Photographie von V. Valenti.)

Die edelste Form des Kalksteins ist der Marmor. Carrara, das durch unsere beistehenden Abbildungen illustriert wird, ist immer noch das großartigste Beispiel der Marmorgewinnung. Die Brüche befinden sich hoch oben am Abhang der apuanischen Alpen und erstrecken sich auch weiter nach Südost hin nach Massa und Seravezza zu. Eine Eisenbahn, die Ferrovia Marmifera, verbindet das Bruchgebiet mit dem lebhaften Städtchen Carrara und dieses weiterhin mit dem Hafen von Avenza. Von den gegen 1000 m mächtigen Kalksteinmassen, die man bei Carrara zwischen kristallinen Schiefern von vorwiegend triasischem Alter eingeschaltet findet, enthalten nur einzelne Zonen die linsenförmigen Körper von brauchbarem Marmor. Gewöhnlich lagern im Hangenden Cipolline und darüber rätische Kalke. Das begehrteste Material ist der stark durchscheinende und schimmernd weiße Statuario, aus dem der Apollo von Belvedere, die Trajanssäule und viele neuere Kunstwerke von Michelangelo bis Klinger entstanden. Der Bianco chiaro ist schon matter und etwas bläulich, der Bardiglio graublau, ein gesuchter Marmor für Möbelplatten. Nur selten ist der weiße, violett, grünlich und schwarz geäderte Pavonazzo zu finden.

Unser erstes Bild (Abbildung 66) gibt eine Übersicht über einen großen Marmorbruch. Das zweite (Abbildung 67) zeigt die Methode des Heraussägens der Marmorblöcke aus der Felswand mittelst eines über Rollen gehenden Drahtes ohne Ende, der sich bei stetiger Zuführung von scharfem Sand mit Wasser tiefer und tiefer einschneidet, indem die Rollen an den beiden Gestellen durch eine Winde nach und nach in demselben Maße tiefergestellt werden. Die Gestelle sind in kleinen Schächten eingelassen. Eine Erläuterung dieser zuerst von Wilmart in den belgischen Marmorbrüchen angewandten Methode gibt das Schema in Abbildung 68. Der Draht, der sich jetzt zwischen UU befindet, ging bei Beginn der Arbeit zwischen OO.

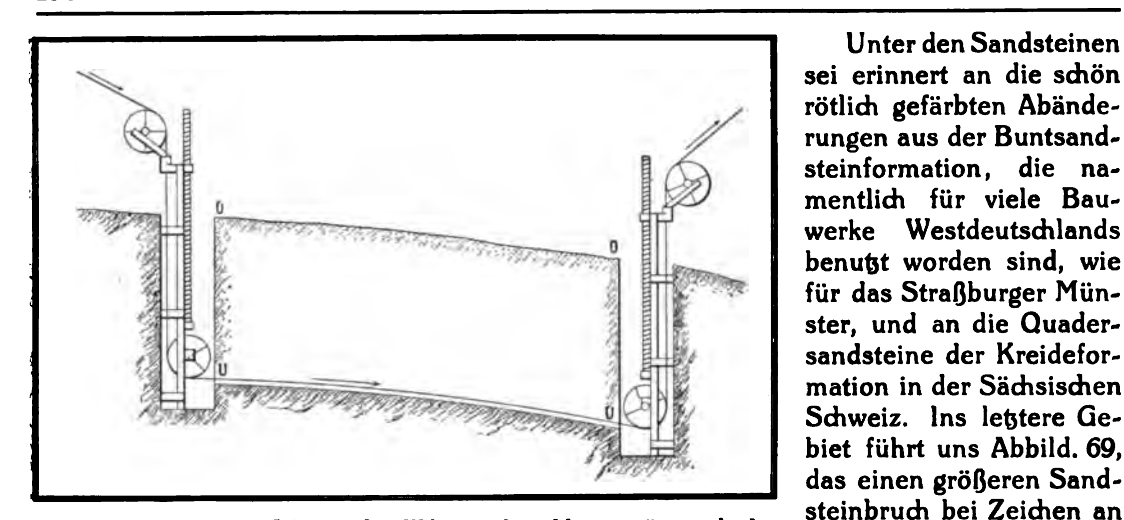


Abbildung 68. Schema der Wilmartschen Marmorsägemethode.
(Nach C. Le Neve Foster.)

Unter den Sandsteinen sei erinnert an die schön rötlich gefärbten Abänderungen aus der Buntsandsteinformation, die namentlich für viele Bauwerke Westdeutschlands benutzt worden sind, wie für das Straßburger Münster, und an die Quadersandsteine der Kreideformation in der Sächsischen Schweiz. Ins letztere Gebiet führt uns Abbild. 69, das einen größeren Sandsteinbruch bei Zeichen an der Elbe oberhalb von Pirna darstellt. Der dortige weiße Sandstein eignet sich vorzüglich zu Mühlsteinen. Noch immer ist in manchen dieser Brüche das „Hohlmachen“ im Gebrauch. Zu diesem Zwecke wird am Fuße einer mächtigen Wand des horizontal geschichteten Sandsteins eine niedrige Schicht auf 10—20 m Entfernung in den Berg hinein herausgearbeitet. Dies besorgen Arbeiter in liegender Stellung, während die Felswand durch Holzstempel gestützt und sorgsam in ihren etwaigen Bewegungen überwacht wird. Werden endlich die letzten Stempel mittelst Schießpulvers zersprengt, so neigt sich die ganze Wand nach vorn und wird beim Sturz in ein leicht weiterzubearbeitendes Haufwerk von mächtigen Blöcken zerschellt. In den meisten Brüchen arbeitet man jetzt nicht mehr nach dieser mit vielen Gefahren verbundenen Methode, sondern indem man von oben nach unten mittelst Schrämarbeit fortschreitet, wobei zugleich eine zu weit gehende Zertrümmerung des Gesteins vermieden wird. Diese Methode zeigt in Abbildung 70 das Bild des Bildhauersandsteinbruches von J. Sperling bei Groß-Cotta. Die erhaltenen mächtigen Quader werden vielfach in Steinsägen (Abbildung 71) zu Platten zerschnitten. Die Sägegatter enthalten wagerecht bewegte Stahlblätter ohne Zähne und schneiden mit Hilfe von scharfem Flußsand, der ununterbrochen mit einem Wasserstrom in die senkrechte Schnittspalte gespült wird. Eine Vorrichtung mit einer fortlaufenden Kette von kleinen



Abbildung 69. Mühlsteinbruch bei Zeichen unweit Pirna der Sächsischen Elbsandstein-Industrie-Gesellschaft.
(Nach einer Photographie von K. Reimann in Freiberg.)

Schöpfbechern sammelt den ausgespülten Sand wieder auf. Aus den Bechern wird er selbsttätig in einen Trog gespült und durch einen Aufzug wieder zur neuen Benutzung noch oben befördert.



Abbildung 70. Bildhauersandsteinbruch von J. Sperling bei Groß-Cotta. (Nach einer Photographie von K. Reimann in Freiberg.)

Neben den Sandsteinen waren die vulkanischen Tuffe erwähnt worden. Ein herrliches, sehr wetterbeständiges, für Skulpturen leicht zu bearbeitendes Material von wirkungsvoller Färbung in pompejanischem Rot bietet zum Beispiel der Porphyrtuff des Rochlitzer Berges in Sachsen. Auch gewisse Trachyttuffe sind sehr geschätzt.

Von hartem Material nimmt der Granit das meiste Interesse in Anspruch. Man denke unter anderem an die großartige Industrie, welche sich im Granitgebiet der sächsischen Lausitz entwickelt hat. Hier werden vorzüglich Trottoirplatten, allerlei Werkstücke, Tür- und Fenstergewände sowie bossierte Pflastersteine gewonnen. Der dortige Granit eignet sich vorzüglich namentlich zur Herstellung größerer Platten und langer Stücke, weil er von Natur bankförmig abgesondert ist. Parallel zu den meist annähernd horizontal gelagerten Bänken läßt er sich leicht mittelst reihenweise eingetriebener Keile spalten, er „hat die Gare", wie man dort sagt. Außerdem sind senkrechte Klüfte vorhanden, und zwar nicht regellos verteilt, sondern gewöhnlich in zwei aufeinander rechtwinklig gestellten Systemen geordnet, was die Abtrennung von Quadern außerordentlich begünstigt. Auf unseren Abbildungen, die uns den Betrieb in den großen C. G. Kunathschen Brüchen von Demitz-Thumitz bei Bischofswerda anschaulich machen, sind diese Eigentümlichkeiten des Lausitzer Granits gut zu erkennen. Die dortigen Werke arbeiten mit allen modernen Mitteln der Technik. Sie besitzen eine von der Union in Berlin gebaute elektrische Kraftstation zum Betrieb der Krane und Winden, der Seil- und Bremsbergbahnen, der schwedischen Spaltmaschinen für die Herstellung von Pflastersteinen, der Steinbrecher- und Siebtrommelwerke für



Abbildung 71. Steinsägegatter. Steinsägewerk Rottwerndorf. Firma Fleck & Illmert. (Nach einer Phot. von K. Reimann in Freiberg.)



Abbildung 72. Übersicht über einen Teil der C. G. Kunathschen Granitbrüche bei Demitz-Thumitz.

Klar- und Feinschlag und viele andere mechanische Arbeiten. Es ist der erste Betrieb in Deutschland, in welchem die vorher nur in Nordamerika und Schottland angewandten Hebevorrichtungen von großen Werkstücken aus Tiefen von 30—50 m eingeführt wurden.

Während die Verwendung des sonst so wertvollen Lausitzer Granits in der Richtung als Dekorationsstein wegen der zu hellen Färbung etwas beschränkt wird, zeichnet sich hierin der herrliche rote Granit der Riesensteine bei Meißen aus, der dort in tiefen Steinbrüchen ausgebeutet wird. Sehr bekannt sind ferner die prächtigen roten Granite Schwedens. Hier werden auch andere harte kristalline Eruptivgesteine gewonnen, die gute Politur annehmen und deswegen als Dekorationssteine überall hin exportiert werden, so schwarze Diabase, graugrüne Diallagamphibolite und andere. Die größten Steinbrüche liegen im südlichen Schweden in der Gegend von Uddevalla. Ein Teil der Gesteine erhält schon im Lande selbst Form, Schliff und Politur. Ein größerer Teil wird in rohen Blöcken ausgeführt und in englischen und deutschen Schleifwerken verarbeitet. In Großbritannien ist Aberdeen in Schottland der Hauptplatz für solche Arbeiten. In Deutschland blüht diese Industrie besonders zu Schwarzenbach an der Saale und Weißenstadt im Fichtelgebirge, im Odenwald und in der Lausitz. In allen diesen Gegenden wird auch einheimisches Material von Granit oder Diabas („schwarzem Granit“ oder „Syenit“ der Industrie) gesägt, geschliffen und poliert.

Als Beispiel mögen hier drei Bilder aus der hochentwickelten Steinbearbeitungsindustrie des hessischen Odenwaldes folgen. Abbildung 75 zeigt uns im Lager eines dortigen Werkes eine Anzahl halbfertige und fertige Grabmonumente und zur Rechten die größte bis heute im Odenwald polierte Syenitfläche in einer Höhe von 3,90 m.

Das Abrichten größerer Stücke wird jetzt mit gewaltigen vertikalen Abrichtmaschinen ausgeführt, die uns Abbildung 76 vorführt.

Die Politur der Flächen geschieht mittelst meist elektrisch angetriebener rotierender Horizontalscheiben, die mit ihrer vertikalen Achse nach allen Richtungen hin verschiebbar sind. Diese Scheiben sind gewöhnlich an mehreren Stellen durchbrochen. Der Arbeiter führt sie unter Zuführung von Schleifmitteln und Wasser auf der zu polierenden Fläche



Abbildung 73. Das Abspalten langer Werkstücke mittelst Keilarbeit in den C. G. Kunathschen Brüchen.

hin und her. Als Schleifmittel wird zunächst Stahlsand in abnehmenden Körnungen, sodann Smirgel oder Karborundum, mitunter auch noch Polierrot (caput mortuum) angewandt.



Abbildung 74. Eine Kunathsche Spalterei mit elektrisch angetriebenen Spaltmaschinen.

Unter den aus dem Norden in die englischen und deutschen Schleifereien importierten Materialien befindet sich auch der sehr auffällige Augitsyenit von Laurvig im südöstlichen Norwegen, ein durch seine blau schillernden Feldspate ausgezeichnetes, sehr grobkörniges, dunkelgefärbtes Gestein von bizarrer Wirkung („norwegischer Labrador" der Industrie). Auch echte Syenite und Diorite werden verarbeitet.

Eine besondere Stellung nimmt der Serpentin ein, der im bergfeuchten Zustande ziemlich weich ist und dann leicht auf der Drehbank bearbeitet werden kann. Die über vier Jahrhunderte alte Serpentinindustrie von Zöblitz in Sachsen, die ein mäch-



Abbild. 75. Ein Teil des Lagers der K. Kreuzerschen Granit- und Syenitwerke zu Bensheim im Odenwald.

tiges Lager solchen Gesteins im erzgebirgischen Gneisgebiet ausnutzt, arbeitet seit einigen Jahren mit modernen Maschinen und unter künstlerischer Mitwirkung von Bildhauern. Sie schafft namentlich auch einen großen Teil der Urnen für die Leichenverbrennung unserer Zeit sowie viele Gegenstände der neueren Raumkunst. Auf die Schilderung der hier angewandten Säge-, Hobel-, Fraismaschienen, Zirkelsägen, Rund- und Ovaldrehbänke, Bohr-, Schleif- und Poliermaschinen kann hier nicht eingegangen werden.

Auch der Dachschieferindustrie mag hier kurz gedacht werden. Aus dünnspaltbarem Tonschiefer verschiedener Formationen, besonders des Silurs, werden maschinell die formatisierten Platten zum Eindecken von Dächern hergestellt. Von solchen Dachschiefern verlangt man in erster Linie Wetter- und Farbbeständigkeit, glatte und ebene Spaltflächen, feines Korn und eine möglichst dichte Struktur, wie sie schon im hellen Klang beim Anschlagen sich verrät. Hierzu soll kommen gleichmäßige Färbung und leichte Zerteilbarkeit in dünne Platten, die mit der Schere geschnitten und bequem vom Schieferdecker durchlocht werden können. In Deutschland stehen die großen Schieferbrüche von Lehesten im Thüringer Wald, von Caub im Rheinischen Schiefergebirge, welche zum Teil unterirdisch betrieben werden, am Hunsrück, an der Mosel und am Harz an erster Stelle. Berühmt sind auch die englischen und belgischen Werke sowie die Bangor Schieferbrüche im Northampton County von Pennsylvanien. Gewöhnlich sind die großen Tagebaue terrassenförmig angelegt. Bei Lehesten sind die einzelnen Terrassen durch Bremsberge verbunden, und auf allen Sohlen liegen Schienengleise mit Lokomotivförderung.

Große Bedeutung haben endlich in neuerer Zeit die Steinbruchsbetriebe erhalten,



Abbildung 76. Zwei Vertikalabrichtmaschinen im K. Kreuzerschen Granit- und Syenitwerk zu Bensheim.



Abbildung 77. Saal mit Poliermaschinen im K. Kreuzerschen Werke zu Bensheim im Odenwald.

welche auf maschinelle Weise durch Steinbrecher und Siebtrommeln den Klarschlag zur Beschotterung von Fahrstraßen, zur Gleisbettung der Eisenbahnen und zur Herstellung von Zementbeton bereiten. Hierzu werden am liebsten so harte und dabei zähe Gesteine verwendet wie Basalt, Quarzporphyr, Diabas, Diorit, Gabbro, Phonolith, Quarzit und Kieselschiefer. Wo diese jedoch dem Verbrauchsort zu fern liegen, begnügt man sich auch mit quarzitischen Grauwacken und anderen weniger harten Massen.

ZEMENTWERKE, SAND-, TON- UND LEHMGRUBEN. Ein in neuerer Zeit gewaltig emporgeschossener Zweig der Technik ist die Zementindustrie. Besonders der Portlandzement hat den gewöhnlichen Kalkmörtel auf vielen Gebieten ganz verdrängt, seitdem der Betonbau so vielseitig angewendet wird. Seit im Jahre 1834 zum ersten Male im Hafen von Algier künstliche Blöcke von Beton bereitet worden waren, war Portlandzement für rationelle Wasserbauten unentbehrlich. Aber auch für die großen modernen Talsperren und umfangreichen Tanks, für die Kanalisation der Städte, für den Brückenbau und den Hochbau in armiertem Beton, für Zement-Makadam und für Maschinenfundamente braucht man große Massen dieses Mörtels. Neuerdings formt man auch architektonische Schmuckteile von Hochbauten daraus.

Die in Abbildung 78 dargestellte große Sächsisch-Thüringische Zementfabrik zu Göschwitz bei Jena kann als der Typus eines solchen modernen Werkes gelten. Portlandzement entsteht durch innige Mischung von Kalkstein und von Ton als wesentlichen Bestandteilen, darauf folgendem Brennen des Gemenges bis zur Sinterung und endlich Zerkleinerung bis zu feinem Mehl. Bei Göschwitz bietet den Kalk in unerschöpflicher Menge die untere Muschelkalkformation dar. Die Steinbrüche (Ab-



Abbildung 78. Die Portlandzementfabrik von Göschwitz bei Jena.

bildung 79) befinden sich hoch oben an der Talkante. Das Material wird durch eine Hochseilbahn herbeigeschafft, deren Fördergefäße in der Fabrik automatisch mittelst elektrischer Vorrichtungen an den vorher eingestellten Punkten zum Ausschütten gebracht werden. Als Zusatz von Ton dient ein mergeliger Ton, der am unteren Talgehänge unweit der Fabrik in großer Mächtigkeit mantelartig das Röt des oberen Bundsandsteins verhüllt. Die bergfeuchten Massen werden zunächst in rotierenden Heiztrommeln, die in eine Anzahl Längskammern geteilt sind, getrocknet und mittelst Steinbrechern zerkleinert. Hierbei werden fortlaufend Proben von beiden Zutaten, dem Kalk und dem Ton, genommen, die schließlich auf Schüttelbändern der weiteren Verarbeitung im gemischten Zustande auf Mahlmühlen zugeführt werden. Nur die peinlichste chemische Kontrolle des Materials verbürgt die Güte des Endproduktes. Unter Zusatz von gemahlenem Koks und nach gründlicher Mischung in einem Rührwerk werden die mit Wasser versetzten Massen in Sümpfen gelagert. Von hier gelangen sie in Pressen, die automatisch rohe Ziegel daraus formen. Letztere werden auf Gestellen langsam durch Trockenöfen geschoben und hierauf mittelst elektrischer Aufzüge zum Aufgabeboden von einer Art Schachtöfen, der Schneider-Öfen, gehoben. In diesen werden sie bis zur Sinterung gebrannt, nach dem Herausziehen mit Wasser abgeschreckt und dem Verfall zu Grus überlassen. Dieser wird in Röhrenmühlen (Grießmühlen), die rollende Rheinkiesel enthalten, zu Staub vermahlen. Als trockener Staub gelangt der Portlandzement zum Versand. Neuerdings hat man zu Göschwitz neben den Schneider-Öfen noch die zuerst in Nordamerika angewandten Drehrohröfen eingeführt, gewaltige bis 20 m lange, um ihre Längsachse rotierende Rohröfen in schräger Stellung. Hierbei werden die gemischten und zu Mehl gemahlenen Massen gar nicht mit Wasser behandelt, vielmehr trocken von oben in den Drehrohrofen eingeführt. An dessen unterem Ende dagegen wird unausgesetzt fein gemahlene Steinkohle eingeblasen, deren fortgesetzte



Abbild. 79. Der Kalksteinbruch der Göschwitzer Portlandzementfabrik.

Verbrennung nach einmaliger Entzündung mittelst Holzfeuers die Sinterung bewirkt. Die Rauchgase werden einer hohen Esse zugeleitet. Die Temperatur in diesen rotierenden Röhren beträgt ungefähr 1500° C. Ihre Kontrolle bewirkt der Ofenmeister mittelst Beobachtung der sinternden Massen durch ein Fenster von blauem Glas. Je nach dem Verlauf des Sinterungsprozesses wird die Menge des zugeblasenen Kohlenstaubes reguliert. Einen solchen Röhrenofen bemerkt man auf Abbildung 78 nahe am linken Rand.

Neuerdings werden in Deutschland und anderen Industrieländern auch große Mengen von Schlackenzement bereitet. Hierzu benutzt man die feinen Sande, zu welchen die mit Wasser abgeschreckten Hochofenschlacken zerfallen. Zur Herstellung des Zements bedarf es eines Zusatzes von Kalkhydrat. Gleichsam natürliche Schlackenzemente sind die aus dem Bimsteintuff oder Traß des Brohltals und Nettetals an der Eifel bereiteten Zemente. Es werden dort jährlich etwa 70000 t Traß zu diesem Zwecke verarbeitet. Schon die alten Römer kannten dieses Baumaterial als Pulvis puteolanus (Pozzuolanerde).



Abbild. 80. Die Kristallsandgrube von Dörentrup, östl. Teil.

Zur Bereitung des gewöhnlichen Mörtels dienen außer gebranntem Kalk die Sande. Beide Rohprodukte werden in neuerer Zeit stellenweise in außerordentlich großen Steinbrüchen, Tagebauen und wohl auch unterirdischen Gruben gewonnen unter Benutzung neuer rationeller Förderungsmethoden, namentlich auch von Dampfbaggern oder elektrisch angetriebenen Baggern und Becherwerken.

Als Muster eines großen Kalkwerks haben wir schon dasjenige von Rüdersdorf bei Berlin erwähnt.

Sandablagerungen können besonderen Wert erlangen, wenn sie sich als Formsand oder zur Glasfabrikation eignen. Eins der bedeutendsten Werke solcher Art ist das von Dörentrup in Lippe, das durch seine vorzüglichen Glassande berühmt geworden ist. Wir geben in Abbildung 80 eine Ansicht des östlichen Teils der dortigen tiefen Gruben. In diesen lagert zu unterst der sogenannte Kristallsand, der aus zerstörtem Hilssandstein hervorging. Fließendes Wasser hat dies Produkt gelockert, aufbereitet und bei Dörentrup in einer geschützten Tertiärbucht wieder abgelagert. Darüber hat sich ein Braunkohlenlager gebildet (im Hintergrunde links auf unserer Abbildung), und dieses wiederum wird von hangenden Sanden und Tonen bedeckt. Der Dörentruper Kristallsand dient in sorgfältig gereinigtem Zustande unter anderem zur Herstellung feiner optischer Gläser und Kristallgläser. Dieser Sand wird in 4 m hohen Abbaustrossen gewonnen unter fortwährender chemischer Kontrolle der einzelnen Sorten durch ein am Platze errichtetes eigenes Laboratorium. Dann geht er sechsmal durch die Wäsche, wird nach dem Korn separiert, gedörrt und unter Vermeidung jeglicher Berührung mit Eisen bis zur Staubfeinheit vermahlen. In diesem Zustande verwenden ihn außer den Feinglashütten auch Porzellan-, Steingut und Emaillewerke, während andere Sande des Werkes als Schleif- und Gebläsesand, als Klebsand zur Ausbesserung von Schmelzöfen und als Formsand dienen.

Unter den Tonlagern sind diejenigen am wertvollsten, welche ein feuerfestes Material liefern. Wir erinnern an die für die Keramik so wichtigen Löthainer Tone in der Gegend von Meißen, die unterirdisch abgebaut werden. Als Beispiel für die Art der Gewinnung geben wir in Abbildung 81 die Ansicht eines Tagebaues der Tongruben von Kärlich im Regierungsbezirk Koblenz. Die dortigen feuerfesten Tone stellen eine Ablagerung in einem Seebecken der Tertiärperiode dar, wie die selten darin vorkommenden Schneckenreste beweisen. Im Hangenden derselben lagern diluviale Schichten, zu oberst Lößlehm, darunter Kies, die beide vor dem Abbau des Tones mit dem Bagger entfernt werden. Zur Rechten des Bildes bemerkt man über dem Ton einen hellgefärbten Streifen, das ist Traß oder sandiger Bimssteintuff.

Die Tone sind durch Übergänge verbunden mit dem Kaolin, dem wichtigsten Rohmaterial der Porzellanindustrie, dessen Gewinnung in neuerer Zeit sehr vervollkommnet ist. Kaolin bildet sich meist durch eine eigenartige Zersetzung der Feldspate von Graniten und Porphyren. Der Quarz dieser Gesteine und sonstige Beimengungen müssen durch Schlämmverfahren aus dem rohen Kaolin vor dessen weiterer Verwertung entfernt werden, denn nur selten hat die Natur diese Aufbereitung selbst besorgt. Zu diesem Zwecke wird der rohe Kaolin in Schlämmtrommeln mit warmem Wasser aufgerührt und durch ein System von Sieben und Zickzackrinnen geleitet, welche die gröberen Beimengungen zurückhalten. Aus den letzten Sieben gelangt die Masse in Absatzbottiche, auf deren Boden sie sich als feinster Schlamm absetzt. Bekanntere Kaolinwerke befinden sich zu Sennewitz, Trotha und Morl bei Halle im Porphyrgebiet, zu Seilitz bei Meißen, wo der Pechstein kaolinisiert wurde, zu Zettlitz bei Karlsbad und zu St. Yrieux bei Limoges in Frankreich, wo Granite das Material bei ihrer Zersetzung geliefert haben. Die berühmte Kaolingrube bei Aue im Erzgebirge, die sogenannte Weiße Erdenzeche, aus der der Wiedererfinder des Porzellans, Johann Friedrich Böttger, seinen Rohstoff bezog, ist seit vielen Jahren auflässig. Noch lagern aber zu Meißen für feinere Porzellane benutzte Vorräte von dem vor langer Zeit dort gewonnenen Material. Diese feinsten Kaoline entstanden durch die Zersetzung der großen Feldspate eines höchst grobkörnigen Granits oder Pegmatits.



Abbild. 81. Die Tongruben bei Kärlich unweit von Coblenz.

Ein großer Fortschritt in der modernen Tonindustrie ist die Anwendung des Gießverfahrens bei der Herstellung großer Häfen aus Schamotte, wie sie unter anderem in den Glasfabriken benutzt werden. Durch einen Zusatz einer nur ganz geringen Menge einer bestimmten Lösung von Salzen wird plastischer feuerfester Ton in eine breiartige Masse verwandelt, die in die Hohlform hineinfließt und in derselben allmählich wieder ihre frühere normale Konsistenz erlangt.

Auf die Bedeutung der großen Lehmlager, besonders in der Diluvial- und Alluvialformation, soll hier nur kurz hingewiesen werden. Die Ziegeleibetriebe, zumeist mit Ringofenanlagen, sind in neuerer Zeit sehr vervollkommnet worden, besonders auch

durch Einführung automatischer Ziegelpressen sowie durch rationelle Transportmethoden für Lehm und fertige Ware.

GLIMMER UND SEINE GEWINNUNG. Unter den Glimmerarten kommen für die Technik hauptsächlich nur der Muscovit, wesentlich ein Kalium-Aluminium-Silikat von der Zusammensetzung $H_2KAL_3Si_3O_{12}$ in Betracht. Doch wird außer diesem völlig durchsichtigen, silberweiß glänzenden Glimmer auch der lichtbraune Phlogopit, ein fast eisenfreier Magnesiaglimmer, selten endlich der Biotit, ein dunkelbrauner Kali-Eisen-Magnesium-Glimmer, benutzt und gewonnen.

Muscovit findet sich als Bestandteil sehr grobkörniger Granite, der sogenannten Pegmatite, die daneben auch viele andere zum Teil nutzbare Mineralien führen können, wie Turmalin, Granat, Apatit, Monazit, Topas und Beryll. Phlogopit kommt zusammen mit Apatit als Gemengteil grobkörniger Pyroxenfelsgänge vor, die nördlich von Ottawa in der Provinz Quebeck (Kanada) kristalline Kalksteine durchsetzen, so in der High-Rock-Mine, die bereits gegen 400 m tief ist. Biotit endlich erscheint mit Korund zusammen bei Peterborough in der Provinz Ontario innerhalb sehr grobkörniger Nephelingesteine.

Das Hauptmineral, der Muscovit, wird in verschiedenen Ländern gewonnen, der Höhe der Ausfuhr im Jahre 1902 nach geordnet: in Britisch-Indien, in Kanada, in den Vereinigten Staaten, in Brasilien und einigen anderen Ländern, wie z. B. auch Deutsch-Ostafrika (Mrorogoro). Indien führte nach F. Circel 1902 1685 t Glimmer im Werte von 507770 Dollar aus. Bei Delhi und Patna sind schon seit Jahrhunderten Gruben im Betrieb. Die größten modernen Betriebe befinden sich in den Distrikten Gaya und Hazaribagh in Bengalen sowie in Nellore und Nilgiti in Madras. Überall ist Pegmatit das Muttergestein. Aus solchem Gestein stammt auch der meiste Glimmer, den Kanada exportiert, 1902 im Werte von 242310 Dollar. Dort liegen die bedeutendsten Werke im Saguenay-Gebiet am Lorenz-Strom unterhalb von Quebeck sowie bei Mattawa im nördlichen Ontario und zu Villeneuve im Ottawa-County.

Die Glimmer sitzen in Form von Paketen im Gestein eingewachsen. Ihre Gewinnung ist sehr schwierig, weil alles darauf ankommt, daß diese Pakete, aus denen Hunderte, ja Tausende von Tafeln durch Spalten bereitet werden können, nicht verletzt werden. Denn der Wert der Tafeln steigt außerordentlich mit ihrer Größe. Die Bohrlöcher werden daher so schwach wie möglich geladen, daß die Sprengschüsse gerade eben lockern. Dann wird mit Spitzhaue oder mit Schlägel und Eisen weitergearbeitet. Nach der Reinigung von Quarz, Feldspat und anderen Gangarten mit der Hand werden die Pakete verpackt und den Trimming Works übergeben, die sie maschinell schneiden und spalten. Der Abfall wird gemahlen und liefert Glimmerpulver.

Schon die alten Indier und Indianer benutzten den Glimmer. Er dient jetzt zu Schutzbrillen, Ofenfenstern, Schutzschirmen gegen Wärme, Lampenzylinder, Grubenlampenscheiben, Tapetenfarben, Isolatoren, elektrischen Kondensatoren und anderen Zwecken. Kleinere Blätter werden auch wohl unter hohem Druck und mittelst eines Zements, der Schellack enthält, zu großen Tafeln zusammengepreßt, dem Micanit.

DIE EDELSTEINE UND IHRE GEWINNUNG. Die älteste Art der Gewinnung von Edelsteinen ist deren Aufsuchung in den lockeren Ablagerungen von Geröll und Sand, wie sie in jungen und alten Flußtälern sich finden. Die Methoden, um solche Edelsteinseifen auszubeuten, sind wenig verschieden von den Gewinnungsarbeiten, wie wir sie in den Gold-, Platin- und Zinnsteinseifen geschildert haben. Es würde zu weit führen, die übrigens untereinander sehr ähnlichen Lagerstätten solcher Art

für die vielen von der Natur dem Menschen zum Schmuck dargebotenen Edelsteinarten im einzelnen zu schildern. Nur für den Diamanten werden wir ein paar Beispiele solcher Seifen vorführen. Für diesen wichtigsten aller Edelsteine hat sich aber seit mehreren Jahrzehnten auch ein eigentlicher Bergbau entwickelt, seit man dessen Muttergestein aufgefunden hat, ein Bergbau, der längst zum Tiefbau übergegangen ist und sich alle Mittel der modernen Technik in rationeller Weise zunutze gemacht hat. Mit diesen primären Lagerstätten der Diamanten werden wir uns daher in erster Linie zu beschäftigen haben.

Schon der große Chemiker Lavoisier hatte vermutet, daß der Diamant reiner kristallisierter Kohlenstoff ist, und Tennant lieferte hierfür 1797 den Beweis, der neuerdings von Krause in exakter Weise wiederholt worden ist. Die Kristalle dieses Edelsteins zeichnen sich durch sehr vollendete reguläre Form aus. Würfel mit dem Pyramidenwürfel kombiniert sind besonders beim brasilianischen Diamanten häufig, Oktaëder und Kombinationen mit diesem beim südafrikanischen und indischen. Im streng kristallographischen Sinne ist der Diamant tetraëdrisch-hemiëdrisch, daher auch das Oktaëder als $\frac{O}{2}$ und $-\frac{O}{2}$ im Gleichgewicht zu betrachten. Sehr charakteristisch ist die häufig sehr starke Krümmung der Kristallflächen. Zwillingsbildungen, gewöhnlich flachtafelartig, mit starker Verkürzung der Zwillingsachse, sind sehr häufig. Das gewöhnliche Zwillingsgesetz ist das nach O. Außer den farblosen Diamanten gibt es gefärbte, wie unser Bild in Abbildung 82 zeigt, in sehr verschiedenen Farbentönen. Karbonat nennt man dunkle Abarten, die bis 2% schwärzliche Kriställchen als Einschlüsse führen. Die als Bort bezeichneten Diamanten haben mehr oder minder kristalline Beschaffenheit und radialstrahlige Struktur. Beide entbehren der starken Lichtbrechung, die den eigentlichen Diamanten neben seiner großen Härte so wertvoll macht.

Als eigentliches Muttergestein der Diamanten hat man verschiedene Felsarten in Verdacht, und es ist zu vermuten, daß, gerade wie das für den Graphit längst festgestellt ist, nicht nur ein einziges hierbei in Frage kommt. Sein Vorkommen in grobkörnigen Graniten oder Pegmatiten Indiens und Brasiliens ist immer noch fraglich, wenn auch möglich. Sicher festgestellt ist das Muttergestein nur für den südafrikanischen Diamanten, dem wir uns jetzt zuwenden.

In den Händen spielender Bauernkinder, welche die glitzernden Steinchen im Sande des Oranjeflusses aufgelesen hatten, wurden 1867 die ersten südafrikanischen Diamanten entdeckt. Der „Star of Africa", der erste größere Stein, den ein Griqua-Hirt zwei Jahre später bei Zendfontein entdeckte, erregte die ganze Welt, so daß sofort ein lebhafter Seifenbetrieb am Oranje und anderen Flüssen sich entwickelte. Man wusch nicht bloß die noch jetzt von den Strömen herbeigebrachten Geröllmassen durch, sondern auch die höhergelegenen Terrassen altquartärer Flußschatten, so noch heute besonders in der Umgebung des Städtchens Barkley-West am Vaal-Fluß, oberhalb vom Einfluß des Hart-Flusses.

Auf der Suche nach solchen höhergelegenen alten Flußabsätzen streiften die Prospektoren auch weit abseits von den heutigen Tälern umher, und hierbei wurde 1870 zu Du Toits Pan bei Jagersfontein ein Fund gemacht, der sich bald als die erste primäre Lagerstätte der Diamanten herausstellen sollte. Andere solche Entdeckungen bei der nachmaligen schnell aufblühenden Stadt Kimberley folgten unmittelbar nach.

Die geologischen Verhältnisse in diesen Gegenden sind kurz folgende: Weithin herrscht an der Erdoberfläche in horizontaler Lagerung die Karruformation, deren Sedimente der Zeit vom jüngsten Karbon bis zum Buntsandstein angehören. Sie



Abbildung 82. Verschiedene Varietäten südafrikanischer Diamanten. (Aus der Sammlung und nach einem Bilde des Herrn Gardner F. Williams.)

wird vorzüglich aus Schiefern und quarzitischen Sandsteinen, zu unterst aus einem glazialen Konglomerat gebildet. Mächtige Eruptivplatten von Diabas und Diabasmandelstein sind häufig zwischengeschaltet. In größerer Tiefe folgen ältere Quarzite, Quarzporphyre und endlich Granit. Alle diese Gesteinsmassen werden durchsetzt von Stöcken und Gängen des diamantführenden Gesteins, das man als Kimberlit bezeichnet. Im Bergbau heißt es Blaugrund. Nahe der Erdoberfläche geht die dunkelblaugraue oder schmutzig-grünlichblaue Farbe in gelbliche Töne über, daher heißt das Gestein hier Gelbgrund. Der Kimberlit ist ein dem Serpentin nahestehendes stark zersetztes Olivingestein von gewöhnlich deutlich brekzienartiger Struktur, wie das auch aus Abbildung 83 hervorgeht. Dieses zeigt in natürlicher Größe ein Stück Blaugrund von Kimberley mit eingewachsenem Diamant nach einem Bilde von Gardner F. Williams. Der Diamant ist nun freilich der seltenste Gemengteil des Kimberlits. Häufig kommen darin vor neben dem sekundär gebildeten, immer vorwaltenden Olivin brauner Glimmer, Pyrop, der auch als „Kaprubin" zu Schmucksteinen verarbeitet wird, Enstatit, Bronzit, Chromdiopsid und Titaneisenerz, seltener Zirkon, Smaragdit, Disthen, Saphir und Rubin. Mittelst des Mikroskops entdeckt man überall häufige Kriställchen von Perowskit, Magnetit, Apatit, Chromit und Spinell. Neben Bruchstücken festen Olivingesteins und solchen von verschiedenen Nebengesteinen finden sich in

manchen Kimberliten rundliche Knollen eines kristallinen, Griquait genannten Gesteins, das wesentlich aus Granat und Diopsid besteht.

Der Diamant ist dem eigentlichen Kimberlit eingesprengt, wurde aber auch eingewachsen im Griquait nachgewiesen.

Die Kimberlitgänge, Ausfüllungen von senkrecht in die Tiefe setzenden, meist nur schmalen Spalten, erweisen sich selten als bauwürdig, zeigen aber in ihrem oft viele Kilometer langen Verlauf durch die vegetationsarme Landschaft dem Prospektor häufig den Weg, wo er reiche Stöcke zu suchen hat. Stöcke können nämlich als Erweiterungen solcher Spalten auftreten, häufiger stehen sie freilich ganz isoliert. Mit rundlichem oder elliptischem Querschnitt gehen sie senkrecht in große Tiefen hinab, daher dort allgemein als Röhren (Pipes) benannt. In der Tat sind sie Explosionsröhren, größtenteils von den Zersprengungsprodukten eines magnesiareichen Schmelzflusses erfüllt, teilweise schließlich auch mit kompaktem Olivingestein verstopft. Die Ausscheidung des Diamanten muß schon vor der Explosion der im Schmelzfluß befindlichen Gase, also in großer Erdtiefe, erfolgt sein, so daß die Urausscheidungen von Griquait bei ihrem ruhigen Kristallisationsprozeß bereits fertige Kriställchen des Edelsteins mit einschließen konnten. Diese Urausscheidungen sind den Olivinknollen zu vergleichen, die viele Basalte zu umschließen pflegen.

Pipes sind sehr zahlreich über Südafrika verstreut, aber nur einige sind bauwürdig. Die meisten, 15 an der Zahl, liegen in 8 km Umkreis um Kimberley. Gegen 50 kennt man im Gebiet von Barkley-West. Im Transvaal wurden sie innerhalb des Pretoria-Distrikts entdeckt, darunter die größte, die der Premier-Mine. Einzelne sind in Rhodesien und Britisch-Ostafrika bekannt. Auch bei Mukerob unweit Berseba und bei Gibeon in Deutsch-Südwestafrika sind gegen 20 Pipes bekannt, deren Bauwürdigkeit bis vor kurzem indessen nicht erwiesen war.

Der Abbau des Blaugrundes namentlich in der Gegend von Kimberley war dem



Abbildung 83. Ein Stück Blaugrund mit eingewachsenem Diamant. (Nach Gardner F. Williams.)



Abbildung 84. Die Kimberley-Tagebaue im Jahre 1872.

Menschen von der Natur sehr schwer gemacht, denn die Gegend ist höchst holzarm, und auch das Wasser mußte von weither den Ansiedlungen zugeleitet werden. Dafür hat es niemals an guten Arbeitskräften in Gestalt der robusten Eingeborenen gefehlt, die gern, oft von weither kommend, auf einige Zeit sich für die lohnende Grubenarbeit verdingen.

Anfangs wurden die Pipes in großen Tagebauen in Angriff genommen. Diese zerfielen in viele kleinere Ausschachtungen, denn zahlreiche Einzelbesitzer teilten sich in den Ausstrich eines Blaugrundgebietes. Waren doch die einzelnen Anteile (claims) nur 9,45 m im Quadrat groß. Durch 4 m breite Wege auf stehengelassenen Zwischenmauern vollzog sich der Verkehr zwischen den Besitzern und ihrem kleinen Besitz. Von jener Periode des Bergbaues auf dem Blaugrund der heutigen Kimberley-Grube gibt das Bild in Abbildung 84 Kunde, das aus dem Jahre 1872 stammt. Zusammenlegungen des Besitzes mehrerer Unternehmer waren bald geboten. Aber immer noch wurden die Massen durch Tagebau gewonnen und mittelst einfacher Seilbahnen gefördert, die man anfangs durch Pferdegöpel betrieb. Wie Spinnenfäden übersponnen damals die Förderseile die Tiefen der menschenwimmelnden Tagebaue. Die Steilwände des horizontal geschichteten Nebengesteins nahmen bedrohliche Höhe an. Dies zeigt das Bild aus dem Jahre 1889 derselben Grube, welches auch sehr gut Blaugrund zur Linken und Nebengestein zur Rechten unterscheiden läßt (Abbildung 85). Zerstörende Zusammenbrüche der randlichen Wände beschleunigten den Übergang zum unterirdischen Tiefbau und die hierzu notwendige Bildung großer Gesellschaften, die schließlich fast alle von der De Beers Company zusammengefaßt wurden.

Besser als lange Beschreibungen machen Abbildungen 86 und 87 nach Percy A. Wagner die Abbaumethoden auf solche Blaugrundstöcke klar. Von im festen Nebengestein niedergebrachten großen Schächten aus geht man durch horizontale Förderstrecken bis an den Rand der Pipe vor. Kurz vor der Gesteinsscheide werden Aufschlußschächte abgeteuft. Von diesen aus wird der Blaugrund durch ein System von rechtwinklig zueinander orientierten Abbaustrecken angefahren und durch einen von oben nach unten fortschreitenden Etagenbruchbau gewonnen. Die Schuttmassen in den alten offenen Tagebauen sanken allmählich nach, als in der Tiefe die Blaugrundsäule, die sie gestützt hatte, teilweise weggenommen wurde. So entwickelte sich die kraterähnliche Beschaffenheit des Bildes vom alten Tagebau auf der Kimberley-Pipe (Abbild. 88).

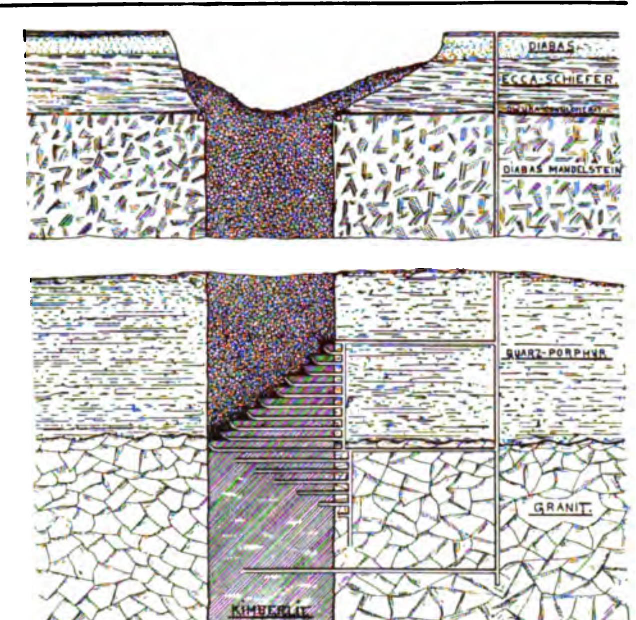


Abbildung 85. Die Kimberley-Tagebaue 1889.

Meist werden die gewonnenen Blaugrundmassen zunächst auf sehr ausgedehnten ebenen Stellen ausgebreitet. Auf diesen „Floors“ lagern sie ein oder mehrere Jahre, bis sie zu Grus zerfallen sind. Gegen Ende 1907 lagerten zum Beispiel auf den Floors der De Beers-Grube gegen 4 1/2 Millionen cbm Blaugrund, damals im Werte von 188 Millionen Mark. Neuerdings werden die widerstandsfähigeren Blaugrundarten, die schwer oder gar nicht zerfallen, direkt auf mechanischem Wege zerkleinert, wobei hintereinander Gates-Steinbrecher, Walzen und Siebtrommeln zur Anwendung kommen.

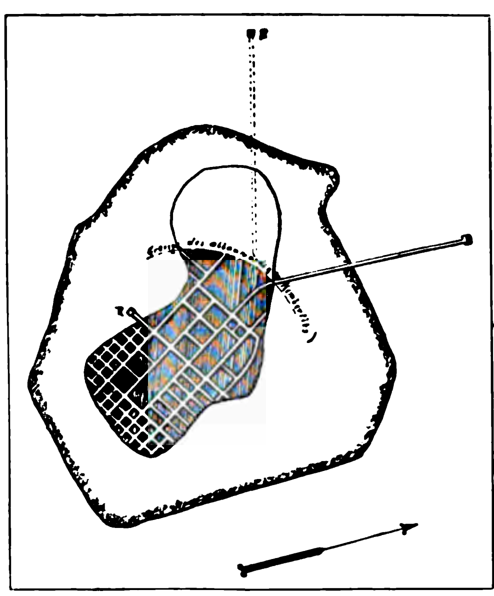
Die von selbst oder künstlich zerkleinerten und gesiebten Massen werden auf flachen ringförmigen Pfannenherden von 4,27 m Durchmesser gewaschen. Deren Wirksamkeit beruht auf rotierenden Armen, die 6 bis 7 in einer fortlaufenden Spirale angeordnete Zähne tragen und mittelst dieser den die Pfanne füllenden Schlamm ständig durchrühren, wobei die schwereren Teile nach der Peripherie gedrängt werden. Die angereicherten Produkte werden mittelst Transportbänder oder in Wagen

nach der Pulsatoranlage geschafft. Diese besteht aus Siebtrommeln und einer Anzahl von Kolbensetzmaschinen. Eine solche Maschine hat zwei feste Siebe, die sich auf gegenüberliegenden Seiten von zwei zentralen Kolben befinden. Auf den Sieben lagert ein Bett von Bleikugeln. Stößt der Kolben, so tritt das Wasser des Setzkastens von unten durch das Sieb und hebt und lockert das Bett. Jetzt fallen jedesmal die schwereren Mineralteile durch das Bett und die Sieblöcher hindurch in einen V-förmigen Behälter, von dessen Boden sie abgezogen werden. Meist betragen die Konzentrate aus den Pfannenherden 1 % des verarbeiteten Blaugrundes. Von diesen bleiben 33 1/2 % in den Siebtrommeln und gelangen schon als gröberes Material zur Handscheidung, 8 1/2 % fallen durchs Bett der Setzmaschinen, 58 % endlich fließen als taube Trübe ab. Vor der Verarbeitung in den Pulsatoren lassen übrigens manche Werke die Konzentrate noch durch Rohrmühlen gehen. Endlich werden die aus den Setzmaschinen kommenden reichen Sande automatisch ihrer Diamanten beraubt, indem man sie mit einem kräftigen Wasserstrom über leichte, seitlich schüttelnde Herde gehen läßt, deren Boden aus gerieften gußeisernen Platten besteht. Diese Platten sind mit einer dicken Schicht von Fett bestrichen, welche die Diamanten festhält, alle anderen Mineralien aber passieren läßt. Das Phänomen beruht auf Differenzen in der Oberflächenspannung zwischen Diamant und Fett und zwischen den anderen Mineralien und Fett. Auch Rubine und Saphire würden haften. Das diamanthaltige Fett wird in feindurchlochten Gefäßen durch Kochen in Wasser und zuletzt in Ätznatronlösung entfernt.



Abbild. 86. Aufriß einer der tiefen Gruben von Kimberley. (Nach Percy A. Wagner.)

Nach der Trennung vom Fett kommen die Diamanten zum Sortierer, der sie nach Reinheit, Form, Farbe und Größe sortiert. Blauweiß ist die Farbe der reinsten Diamanten vom Kap.


Abbildung 87. Grundriß einer der tiefen Gruben von Kimberley. (Nach Percy A. Wagner.)

Großes Aufsehen erregte vor einigen Jahren der Fund eines Diamanten in dem Tagebau der Premier-Mine in Transvaal. Dieser Stein stellte nämlich an Größe alle bekannten



Abbildung 88. Der Tagebau über der Kimberley-Pipe im Jahre 1901.

großen Vorläufer weit in Schatten. Er erhielt den Namen Cullinan. Wir bilden diesen Fund im rohen Zustand ab. Er glich einem Stück ganz reinen Eises (Abbild. 89). Sein Gewicht betrug 3025 Karat (623 g). Die Transvaal-Regierung schenkte ihn König Edward, der ihn 1908 in Amsterdam durch Assche & Co. zerlegen und schleifen ließ. Von den vier größeren Stücken sollen Cullinan I die Krone, Cullinan II das Zepter der englischen Könige schmücken. Der erstere, 516 1/2 Karat schwer, ist der größte bekannte geschliffene Diamant und zugleich einer der schönsten.

Wie schon erwähnt, sind die Diamanten dem Blaugrund höchst spärlich eingestreut. Selbst De Beers- und Kimberley-Mine lieferten durchschnittlich nur 40 Karat in 100 Lasten. Da 1 Last gleich 725 kg, 1 Karat gleich 0,206 g ist, macht also nach Percy Wagner der Diamant nur rund 1/9000000 des Gesteins aus. Die Bauwürdigkeit geht unter Umständen bis 10 Karat für 100 Lasten herab.

Die letzten Jahre brachten für die deutsche Kolonie Südwestafrika den Diamantensegen, nachdem alle Versuche bisher vergeblich waren, den dortigen Blaugrund mit Gewinn abzubauen. Die neuen Fundplätze liegen in einer schmalen Küstenzone zwischen der Spencerbucht und den Sinclairinseln. Die reichsten Gebiete entfallen auf die Gegend zwischen Lüderitzbucht und Elisabethbucht sowie auf das weiter südlich gelegene Gebiet von Pomona. Den ersten Stein fand im April 1908 ein schwarzer Bahnarbeiter, der ihn dem Bahnmeister Stauch brachte. Die Diamanten kommen in kiesigen Sanden vor, die früher vom Meere angespült worden sind. Durch Windkonzentration sind sie in besonderen Streifen angereichert worden. Der Sand führt auch viele Bandachate, Eisenkiesel, Jaspis und andere Kieselmineralien, wie auch Granat. Die Diamanten sind zumeist unter dem Gewicht von 1 Karat. Solche von über 2 Karat sind nur ganz vereinzelt gefunden worden. Unser Bild in Abbildung 90 stellt die Art der Gewinnung dar. Sie besteht im einfachen Ablesen oder im Absieben des feinen Sandes durch Schwingesiebe und Schütteln des Kieses in Handsieben. Letztere werden zuletzt noch im Wasser bewegt und endlich auf Lesetischen zum Durchsuchen umgestülpt. Dort wo auch die tieferen Sandlagen Diamanten enthalten, wer-



Abbild. 89. Der Cullinandiamant, stark verkleinert.

den die Massen durch Baggermaschinen ausgehoben und einer maschinell betriebenen Aufbereitung zugeführt.



Abbild. 90. Diamantgewinnung in Deutsch-Südwestafrika.
(Nach einer Photographie von Hubrich.)

20. DIE SALZE UND IHRE GEWINNUNG

STEINSALZ UND SOOLQUELLEN. Steinsalz, in chemischer Beziehung Chlornatrium, als Gestein aber fast nie ganz rein, insbesondere gewöhnlich mit Spuren von Chlormagnesium und Chlorkalzium, gehört zu den sehr leicht löslichen Stoffen, denn 1 Gewichtsteil Salz ist in 2,8 Teilen Wasser löslich. Darum kann es an der Erdoberfläche nur in ganz trockenen, nahezu regenlosen Ländern ausdauern. So streicht es auf der im Persischen Meerbusen gelegenen Insel Kischim in einem 6 km langen Streifen zu Tage aus, während der oft als Beispiel angeführte „Steinsalzberg" von Cardona in Katalonien (Abbildung 91) kein eigentlicher Salzberg ist, sondern größtenteils eine Decke von Salzton und Anhydrit trägt. Als Mineral kommt Steinsalz oft in schönen Kristallgruppen vor. Unsere Abbildung 92 gibt eine solche wieder, die sich in einem zeitweilig mit Wasser gefüllten Grubenraum des Kalibergwerks „Glück auf Schacht" bei Sondershausen auf der Zimmerung abgesetzt hat. Neben den Steinsalzwürfeln sitzen kleinere Gipskriställchen. Als Gestein stellt Steinsalz ein weißes kristallines Aggregat dar, das häufig durch Beimengung von Ton grau gefärbt ist. Auch braune, durch bituminöse Einschlüsse bedingte, und blaue, vielleicht durch Natrium verursachte Färbungen kommen hier und da vor. Rote Varietäten enthalten als Pigment winzige Blättchen von Eisenoxyd eingesprengt.



Abbildung 91. Ein Teil des Steinsalzberges von Cardona mit steilen Schichten eines anhydritischen Steinsalzes und einem Pfeiler von Salzton.
(Nach einer Photographie von W. von Mohrenschildt.)

Wegen der leichten Löslichkeit kann Steinsalz auch in größerer Erdtiefe nur unter besonders günstigen Verhältnissen der Auslaugung durch unterirdisch zirkulierende Wässer entgehen. Vor allem müssen die Salzlagerstätten einen schützenden, für Wasser undurchlässigen Tonmantel haben, der vermöge seiner plastischen Eigenschaften sich rasch wieder unter dem Druck des Gebirges schließt,

wenn er ja bei Schichtenstörungen durch eine Kluft durchgerissen werden sollte. Übrigens ist auch das Steinsalz selbst unter allseitigem Druck plastisch umformbar. Etwaige Bruchschäden können daher unter Umständen auf rein mechanischem Wege wieder ausgeheilt werden.

Es gab eine noch nicht allzuweit zurückliegende Periode in der geologischen Wissenschaft, als man noch ernsthaft den vulkanischen Ursprung unserer Steinsalzlager diskutierte. Heute wissen wir, daß zwar Chlornatrium neben anderen Chloriden reichlich an der Mündung mancher vulkanischer Schlote ausblüht, alle eigentlichen Salzlager aber Absätze aus Meerwasser oder aus dem Wasser von Binnenseen und Salzsümpfen darstellen. Hierfür sprechen namentlich auch die anderen Gesteine, welche fast überall das Steinsalz, sei es im Liegenden oder Hangenden, begleiten, vor allen der Anhydrit und der Gips, ferner auch eine bunte Gesellschaft von anderen Salzen von echt mariner Herkunft, die Abraumsalze, so genannt, weil sie im Hangenden des Steinsalzes zuerst aufgefunden wurden. Diese besonders wertvollen letzteren Begleiter hat die Natur allerdings nur unter besonders günstigen Verhältnissen von der Wiederauflösung verschont. Sie sind im allgemeinen noch viel leichter löslich als jenes. Als mechanische Sedimente gehören zu den ständigen Begleitern des Steinsalzes endlich die Tone und Schiefertone, besonders auch bituminöse Schiefertone.



Abbild. 92. Steinsalzkristalle u. Gipsnädelchen auf Grubenholz im „Glück auf Schacht" bei Sondershausen. (Nach einer Phot. von K. Reimann, Freiberg.)

Je größeres Alter ein Steinsalzlager erreicht, desto zahlreichere Gefahren hat es zu bestehen. Es kann an die Erdoberfläche gerückt und damit den Regenfluten ausgeliefert werden, Klüfte können es ganz durchsetzen, unterirdische Wasserströme von den Kluftwänden aus es auflösen. Die entstehenden wässerigen Lösungen können unter günstigen Verhältnissen wieder zum Tageslicht emporsteigen und dort als Soolquellen austreten, oder der Mensch kann sie in der Tiefe erbohren und künstlich emporheben, um das Salz daraus durch Einsieden des Wassers zu gewinnen. Nach diesen Erwägungen kann es nicht überraschen, daß die Häufigkeit der Steinsalzlager innerhalb der Reihe der geologischen Formationen mit deren höherem Alter in wachsendem Maße abnimmt. Und doch sind selbst in so alten Formationen, wie in dem Silur, Steinsalzlager bekannt, wie das Beispiel der Salzlager in der silurischen Onondaga-Formation des westlichen Ontario beweist. Ein Bohrloch bei Goderich im Huron County durchsank bis zu einer Tiefe von 455 m 6 Salzflöze von 2—10 m Mächtigkeit. Dementsprechend kann es nicht überraschen, daß die Tertiärformation, die in der vorletzten Periode der Erdgeschichte abgelagert wurde, so salzreich ist.

Noch aber spielen andere Faktoren unter den Existenzbedingungen für technisch nutzbare Steinsalzlager eine wichtige Rolle. Steinsalz kann sich nicht aus dem offenen Ozean abscheiden. Selbst wenn unter der Sonnenglut der Tropen die oberste

Wasserschicht so stark konzentriert würde, daß die Abscheidung beginnen könnte, würden die leichtesten Wogen, welche die bis dahin stille Fläche des Meeres kräuseln, die dünne durch Verdunstung konzentrierte Schicht mit dem salzärmeren Wasser aus größerer Tiefe vermischen. Es bedarf zur Abscheidung einer Flachsee mit häufigen Gelegenheiten zur Abschnürung von Lagunen, die gar nicht oder nur zeitweilig noch mit dem Ozean in Verbindung stehen. Besonders, um sehr mächtige Steinsalzlager zu erklären, hilft die Annahme eines abgeschlossenen Meerbusens, der nur zeitweilig, bei besonders hohen Fluten, über eine für gewöhnlich geschlossene Barre hinweg neue Zuflüsse vom Meere her empfängt, über viele Schwierigkeiten unserer Erklärung hinweg. Ein solches abgeschlossenes Becken mit nur sehr beschränktem Wasserzufluß vom Kaspischen Meer her stellt der Busen Karabugas dar. Die an seinem Grunde tatsächlich sich abscheidenden Salze sind allerdings hier wesentlich Gips und Glaubersalz, weil das Wasser des Kaspischen Meeres von vornherein fünfmal mehr Sulfate auf ein Teil Chlornatrium enthält als andere Meere, aber trotzdem ist es eins der besten Beispiele aus der Jetztwelt für eine Abscheidung mariner Salze im Großen. Solche Bildungen werden durch ein Wüstenklima sehr wesentlich unterstützt. Nur hier können in den Becken die sehr hohen Temperaturen erzeugt werden, wie sie namentlich auch für die Abscheidung der leichter löslichen Abraumsalze unbedingt nötig waren.

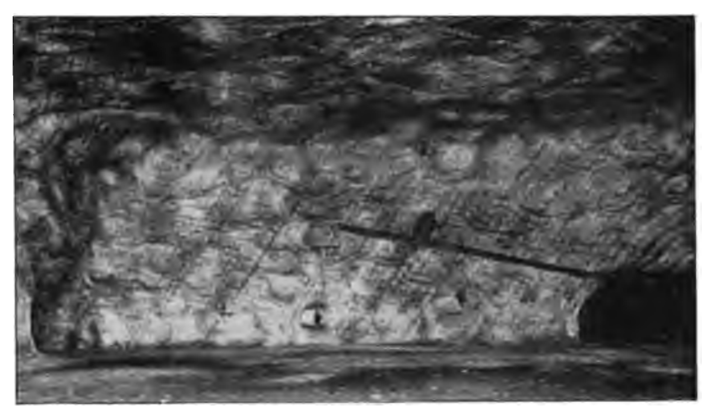


Abbildung 93. Festsaal im älteren Steinsalz des Kaliwerkes Friedrichshall mit den Jahresringen von Anhydrit. (Nach einer Photographie des Kalisyndikats.)

Eine namentlich bei Staßfurt auffällig hervortretende Erscheinung sind die sogenannten Jahresringe, jene auf dem Querbruch der Salzschichtung scharf abgehobenen ganz dünnen Anhydritlagen, die wohl 10000mal in ähnlichen geringen Abständen sich wiederholen. Sie entsprechen periodischen, vermutlich jahreszeitlichen Schwankungen in der Temperatur jener großen Salzseen der Permzeit. Es nimmt nämlich die Löslichkeit des Kalziumsulfats mit wachsender Temperatur ab, die Abscheidung von Anhydrit würde also jedesmal eine besonders heiße Periode bezeichnen, während für das gleichzeitig anwesende Chlornatrium das umgekehrte Verhältnis stattfindet. Das eine unserer Bilder (Abbildung 93) läßt diese Jahresringe im älteren Steinsalz des Kaliwerkes Friedrichshall sehr deutlich hervortreten.

Aber auch abseits vom Meere können Salzablagerungen von großer Mächtigkeit entstehen, wenn unter trockenem und heißem Wüsten- oder Steppenklima Flüsse und Bäche in abflußlosen Becken versiegen. Das Flußwasser enthält viele Salze, die aus Gesteinen mariner Entstehung ausgelaugt worden sind, aus mancherlei Sedimenten, die ehemals den Meeresgrund gebildet haben und winzige Mengen von Meeressalzen einschlossen, aber auch aus älteren Steinsalzlagern selbst. Der Elton- und Bogdo-See in der abflußlosen Steppe zwischen dem Südural und der Wolga sind gute Beispiele solcher Becken inmitten salzhaltiger Gebirge. In manchen Ländern, wie im

Transvaal, sind solche Salzpfannen die einzigen Sitze einer primitiven Salzgewinnung, wie unser Bild in Abbildung 94 zeigt. Es stellt eine sogenannte Salzpfanne in der Gegend von Zoutpansberg im Transvaal dar. Die weißen rechteckigen Flächen sind Ausschachtungen, worin man das Salzwasser verdunsten läßt.

In größerem Maßstabe wird Steinsalz vorwiegend durch Bergbau gewonnen.

Der Abbau ist ein Weitungsbau. Die sehr großen Räume, die er erzeugt, sind seit langer Zeit namentlich zu Wieliczka, südöstlich von Krakau, ein Gegenstand der Bewunderung zahlreicher Besucher. Die dortigen Salzlager gehören dem jüngeren Tertiär an, wie zahlreiche andere Lagerstätten dieser Art innerhalb der ungarischen Monarchie. Es werden drei geologische Horizonte mit etwas verschieden ausgebildeten Salzeinlagerungen unterschieden. Eingebettet im hangenden Salzton ruhen zunächst zahlreiche bis 20000 cbm mächtige Stöcke des sogenannten Grünsalzes, eines grünlich grauen Steinsalzes. Im Liegenden mit Anhydrit wechsellagernd befinden sich die bis 20 m mächtigen Lager des weißen feinfaserigen Spizasalzes, und endlich innerhalb von Salztonen und Anhydriten eines noch tieferen Niveaus ruhen die Linsen und Stöcke des grobkörnigen Schibiker (Szybiker) Salzes. Diese drei Regionen sind durch seitlichen Gebirgsschub stark gestaucht und disloziert worden. Große Schwierigkeiten finden so ausgedehnte Weitungsbaue, wie Wieliczka, in der Möglichkeit von Wassereinbrüchen, wie es der vom Jahre 1868 war. Dieser erfüllte alle tieferen Sohlen mit Wasser und Schlamm. Ein zweiter Einbruch vom Jahre 1879 wurde mit den inzwischen beschafften großen Wasserhebungsmaschinen leicht überwunden. Bei Wieliczka imponiert auch das weitverzweigte unterirdische Eisenbahnnetz, das mit seinem „Bahnhof Graf Goluchowski" ebenfalls eine Sehenswürdigkeit bildet, wie die oft beschriebenen unterirdischen Prunksäle und Kapellen, wie der unterirdische See, auf dessen salzigen Fluten eine Bootfahrt eingerichtet ist. Das gewonnene Salz wird teils als Stücksalz, teils in gemahlenem Zustande als Industriesalz verkauft.

Vielfach wird jedoch eine andere Methode angewandt, um derartige Salzlager unterirdisch abzubauen, der Sinkwerksbau, wie er unter anderem in Aussee, Hallstadt und Ischl, im österreichischen Salzkammergut, zu Hallein im Salzburgischen, zu Berchtesgaden in Oberbayern und zu Hall in Tirol im Gebrauch ist. Die Salzlager sitzen hier innerhalb von sehr stark gestörten Triasschichten und treten selten rein auf, meist vielmehr bis zu $^1/_3$ ihrer Masse mit Salzton, Polyhalit und Anhydrit gemengt oder zu einer Art Brekzie verbunden. Von den unlöslichen Beimengungen befreit man das Salz beim Sinkwerksbau gleich in der Grube selbst. Von einem Stollen aus wird ein flacher, nur 1 m hoher Raum mit kreisförmigem Umriß ausgeschossen und durch Zwischenschächte mit der nächst oberen Sohle der Grube verbunden. Diesen Raum füllt man bis zu seiner First, dem sogenannten „Himmel", mit süßem von oben her zugeleitetem Wasser an und überläßt ihn eine Zeitlang sich selbst, nachdem der Zugang zum unteren Stollen durch einen Damm wasserdicht abgeschlossen wurde. Das Wasser löst nun nach oben hin das unreine Salz rings an den Wänden, die mehr und mehr zurücktreten, während die unlöslichen Beimengungen niedersinken und den flachen Boden des Sinkwerkes bedecken, um ihn zugleich vor weiterer Auflösung zu schützen. Es entsteht schließlich ein oben unregelmäßig gewölbter Raum, von einer etwa 28% Kochsalz enthaltenden Sole erfüllt, die abgelassen und dem Sudhause zugeleitet wird. Die Füllung mit süßem Wasser kann oft hintereinander wiederholt werden, wobei Höhe und Umfang des Sinkwerkes entsprechend zunehmen, erstere schließlich 4 m und mehr beträgt. Am Salzberge zu Aussee überspannt am Schluß des Verfahrens der „Himmel" einen Raum von gegen 112 m im



Abbildung 94. Blick auf eine Salzpfanne im Gebiet von Zoutpansberg. Die weißen Stellen sind Steinsalz. (Nach einer Aufnahme von H. F. Gros.)

horizontalen Durchmesser, bei Hall sogar noch von doppelter Größe, weil hier die Bruchgrenze des Gebirges noch höher liegt. Bei günstigen Festigkeitsverhältnissen des Dachgebirges kann ein und derselbe „Himmel" mehrere Jahrzehnte hindurch benutzt werden.

Ein modernes Verfahren zur planmäßigen Aussolung von Steinsalzlagern ist der Abbau mittelst Spritzarbeit und Berieselung unter Herstellung von Aussolungskesseln, wie er zum Beispiel in Schönebeck durchgeführt worden ist, nachdem man schon früher an anderen Werken das Spritzen beim Vortreiben von Strecken zum Abbau von festem Steinsalz angewandt hatte. Hierbei wird Wasser unter hohem Druck vor Ort geführt und in feinen Strahlen gegen den Steinsalzstoß geworfen. Die stark salzig gewordenen Spritzwässer sammeln sich auf der Sole, wo ein Damm ihr Abfließen verhindert, bis schließlich durch ein Abzugsrohr der Inhalt der Pumpstation zugeführt wird. Die Aussolungskessel erweitern sich nach oben schließlich bis zu 15 m Weite, während sie nach unten hin sich stark verjüngen. Alle 16 m wird von der Abbausohle aus ein neuer solcher Kessel im hangenden Steinsalz ausgespritzt, so daß entsprechend starke Zwischenpfeiler zwischen je 4 Kesseln übrigbleiben.

Vor der weiteren Verarbeitung der Solen, seien sie nun durch derartige künstliche Veranstaltungen erzeugt oder, wie zu Halle und bei vielen anderen Salinen, von natürlichen Salzquellen gespendet worden, werden sie noch immer an manchen Orten in althergebrachter Weise über Gradierwerke geleitet, hohe und schmale Holzgerüste,

die dicht mit Dornzweigen ausgefüllt sind. Oben auf der Dornenwand läuft die hinaufgepumpte Sole in einem Gerinne mit zahlreichen Ausflußöffnungen. Beim langsamen Abwärtsträufeln durch die Dornen wird schwefel- und kohlensaurer Kalk als Dornstein ausgeschieden und die Konzentration der Salzlösung auf 18—20% Kochsalz gesteigert. Heute dient diese Einrichtung fast nur noch zur Kur für Kranke, denen die salzhaltige Luft in den Gradierwerken zur Stärkung der Lungen empfohlen wird. Im übrigen besteht die Verarbeitung der Solen in den Siedehäusern oder Salzkoten aus wesentlich drei Prozessen: zunächst wird die Flüssigkeit in großen durch Feuergas oder Dampf erhitzten Pfannen von Eisenblech zum Aufkochen gebracht, wobei sich der etwa vorhandene Gips, Eisenverbindungen und andere Unreinigkeiten abscheiden. Sie werden mit einer Krücke abgezogen. Dann beginnt die Kristallisation des reinen Salzes, das „Soggen". Auch dieses wird ausgekrückt und den Trockenapparaten zugeführt, zu deren Betrieb die Feuerungsgase benutzt werden. Aus der in der Pfanne verbleibenden Mutterlauge können endlich noch die leichter löslichen Kalium- und Magnesiumsalze gewonnen werden. Bei diesen Prozessen hat die moderne Technik namentlich insofern Fortschritte herbeigeführt, als sie die Feuerungsanlagen sehr vervollkommnete.

DIE KALISALZE. Unter besonders günstigen Umständen werden aus dem Wasser abgeschlossener Meeresteile nicht nur Anhydrit oder Gips und Steinsalz, sondern auch eine Reihe von im Wasser leichter löslichen Salzen, in der Hauptsache Kalium-Magnesium-Verbindungen, ausgeschieden und der festen Erdkruste einverleibt. Zum ersten Male traf man solche Kalisalze bei Bohrungen auf Steinsalz 1843 bei Staßfurt an und stellte später durch die Grubenaufschlüsse der Schächte „Manteuffel" und „von der Heydt" fest, daß sie ausgedehnte Ablagerungen im Hangenden des abzubauenden Steinsalzes bildeten. Sie stellten für die damalige Zeit, Anfang der 50er Jahre, den Abraum über dem eigentlichen Gegenstand des Bergbaues, dem Steinsalz, dar, daher auch die frühere und wohl noch jetzt gebrauchte Bezeichnung Abraumsalze. Seit 1862 wurden indessen zuerst von anhaltischen Werken auch die Kalisalze gefördert und bei dem heutigen Leopoldshall die ersten Chlorkaliumfabriken angelegt. Seit 1875 schlossen sich eine Reihe weiterer, nun ausschließlich zur Gewinnung der Kalisalze begründete Gruben an, und auch abseits von Staßfurt wie bei Vienenburg entstanden bald darauf Kalisalzwerke. Weiter und weiter vermochte man die bekannten Grenzen dieser unterirdischen Bodenschätze hinauszurücken, für die Deutschland von der Natur beinahe ein Monopol verliehen zu sein schien, denn bis jetzt ist es das einzige Land mit einigermaßen bedeutenden Vorkommen dieser Art. Die bei Kalusz in Galizien bekannten Kalisalze zum Beispiel haben nur ganz geringe Mächtigkeit.

Im allgemeinen fällt die Verbreitung der deutschen Kalisalze zusammen mit derjenigen der oberen Zechsteinformation, innerhalb welcher diese wertvollen Ablagerungen eingeschaltet sind. Sie sind durchaus nicht, wie man früher glaubte, auf den Staßfurt-Egelner Sattel der Magdeburg-Halberstädter Mulde beschränkt, die man längst als ein nach Ablagerung dieser Salze entstandenes rein tektonisches Gebilde erkannt hat. Sie finden sich außerdem im Gebiete der Unstrut, der Aller und Oker, der Leine, der Werra, ja weit im Norden bei Lübtheen und Jessenitz.

Die Aufeinanderfolge der verschiedenen Salze und ihre Stellung innerhalb der geologischen Formationen kann am besten an dem Profil in Abbildung 95 klargemacht werden, das wir einer Arbeit von H. Precht und R. Ehrhardt entnehmen. Dieses Profil stellt einen senkrechten Schnitt von WSW nach ONO durch das Kalibergwerk Ludwig II. bei Staßfurt dar. Wir sehen hier die Kalisalze zwischen einer älteren



Kalisalzbergwerk Staßfurt.

Zu Beck und Hoffmann: Die technisch wichtigen Metalle und die Gewinnung ihrer Erze.

und einer jüngeren Steinsalzablagerung eingeschaltet. Letztere kann fehlen, wie wir sie denn schon in diesem Schnitt nach WSW hin sich auskeilen sehen.

Wie die Untersuchungen van't Hoffs, H. Prechts, J. Walthers und anderer Forscher bestätigt haben, folgen die Salze genau in der Reihenfolge aufeinander, wie wir sie in abgeschlossenen Meeresbusen uns ausgefällt denken müssen, und zwar unter einem heißen Wüstenklima. Zu unterst häuften sich die Sulfate des Kalziums an und das verhältnismäßig schwer lösliche Chlornatrium. Im älteren Steinsalzlager zeigen die sogenannten Jahresringe an, daß zur heißesten Jahreszeit immer eine dünne Schicht von Anhydrit sich absetzte, während im kühleren Herbst, Winter und Frühling das Steinsalz sich ausschied, da seine Löslichkeit mit der Temperatur des Wassers zunimmt. Nach oben hin folgt dann die Polyhalitregion, und zwar ohne scharfe Grenzen, indem ganz allmählich den dünnen Anhydritschichten im Steinsalz sich mehr und mehr Polyhalit zugesellt, ein Mineral von der Zusammensetzung $2CaSO_4$, $MgSO_4$, K_2SO_4, $2H_2O$, bis schließlich die „Jahresringe", welche dem immer noch 92—93% des Ganzen ausmachenden Steinsalz zwischengefügt sind, nur aus Polyhalit bestehen.

Die noch in den Salzseen verbliebenen Lösungen bestanden jetzt neben dem Chlornatrium hauptsächlich aus reichlich vorhandenen Kalium- und Magnesiumverbindungen. Das Wasser glich der Mutterlauge, die sich in den Siedepfannen unserer Salinen nach dem Auskristallisieren des größten Teiles des Kochsalzes bildet, oder der Flüssigkeit, die in den Ausschachtungen der Salzgärten am Mittelländischen Meer zurückbleibt, wenn die sommerliche Hitze deren Einengung bis zur Ausscheidung des Kochsalzes vollendet hat. Diese Mutterlaugensalze selbst konnten aber nur dann in den Lagunen des Zechsteinmeeres zur Ausscheidung gelangen, wenn kein frisches Meerwasser mit neuen Chlornatriummengen zuströmte, wenn der Eingang zur Lagune völlig geschlossen war oder das Becken infolge von einer Hebung des Landes weit abseits von der flachen Küste gerückt worden war.

Unter solchen Verhältnissen schied sich hinter dem Polyhalit zunächst etwas Karnallit, sehr bald aber der Kieserit aus, und zwar immer noch mit viel Steinsalz und etwas Anhydrit. Kieserit ist $MgSO_4H_2O$. Man nennt diese Zone die Kieseritregion. Dann folgt die Kristallisation von Karnallit, dem kalireichen Doppelsalz von Chlorkalium und Chlormagnesium ($KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$ mit 27% KCl). Dieses an der Luft leicht zerfließliche farblose, häufig auch durch Eisenoxydblättchen rotgefärbte Salz, das man vom Steinsalz, abgesehen vom Geschmack, an seinem muscheligen, fettglänzenden Bruch unterscheidet, ist einer der Hauptgegenstände der Kaliindustrie.

Bei Staßfurt bildet die Karnallitregion in einer Mächtigkeit von etwa 25 m eine zusammenhängende Ablagerung im Hangenden des älteren Salzlagers. Ihr Gestein besteht nach H. Precht aus etwa 55% Karnallit, 26% Steinsalz, 17% Kieserit und 2% sonstigen Bestandteilen, wie Anhydrit, Ton, Borazit und dergleichen. Auch die reinsten Karnallitstücke enthalten auf ihrer primären Lagerstätte noch Chlornatrium eingewachsen.

Nach oben hin bildet den Abschluß des Karnallitlagers und damit der gesamten älteren Steinsalzbildung eine bei Staßfurt etwa 8 m mächtige Schicht von Salzton, der vor Wiederabwaschung durch Meer- und Flußwasser, aber auch vor der Auslaugung durch unterirdische Wasser schützende Mantel der kostbaren Kalisalze. Seine Hauptmasse besteht aus Ton, einem ehemaligen Schlamm. Außerdem sind viele Salze zugegen, am Liegenden nach Precht viel Kalziumsulfat, in der Mitte Magnesia und Tonerdehydrat, am Hangenden besonders Magnesiumkarbonat. Früher glaubte man wohl, daß der Salzton durch Stürme herbeigewehter Wüstenstaub sei, und daraus

auch sein Salzgehalt sich erkläre. Seit aber E. Zimmermann darin Meereskonchylien gefunden hat, ist an seiner wenigstens teilweisen Sedimentation im Meerwasser wohl nicht mehr zu zweifeln.

Der Salzton wird von Anhydrit überlagert. Damit ist angezeigt, daß der Ozean von neuem das niedrige Wüstengebiet mit seinen Salzseen überflutete und abermals eine Konzentration von Kalziumsulfat in abgetrenntem Meeresbecken einsetzen konnte. Außerdem ist in vielen Salzbergwerken des Zechsteingebietes über diesem oberen Anhydrit noch ein jüngeres Steinsalzlager zu beobachten, wie es auch unser Profil in Abbildung 95 zeigt. Dieses ist gewöhnlich viel reiner als das ältere, es enthält 97,5—98,5 Chlornatrium, und die aus Polyhalit bestehenden Jahresringe fehlen zwar auch hier nicht, sind aber ganz schmal, kaum sichtbar, halten auch größere Abstände voneinander ein bis zu 30 cm. In großer Mächtigkeit ist das jüngere Steinsalz vorzüglich auf den hannöverischen Salzwerken bekannt. Man hält es jetzt gewöhnlich für sekundär gebildet. Oberflächengewässer hätten das ältere Steinsalz, wo es ungeschützt war, wo sein Salztonmantel zerrissen war, aufgelöst und eine konzentrierte Lösung gebildet, aus der in tieferen Becken das jüngere Steinsalz auskristallisierte. Im hannöverischen Gebiet sind mit dem jüngeren Steinsalz auch Kalisalze von ebenfalls sekundärer Entstehung verbunden, so namentlich bei Salzdetfurth, wo das jüngere Salz 200—300 m Mächtigkeit gewinnt. Die sekundären Kalisalze sind viel reiner als die primären und darum besonders wertvoll. Sie bestehen vorzüglich aus Karnallit und Sylvinit, einem Gemenge von reinem Sylvin (Chlorkalium) und Chlornatrium. Der Chlorkaliumgehalt des Sylvinits schwankt zwischen 20 und 60 %, sehr selten steigt er sogar bis 90 % an. Man kann ihn äußerlich kaum von Steinsalz unterscheiden. Der Salzbergmann verläßt sich auch hier auf seine Zunge.

Unter diesen regenerierten Salzen, die in großer Menge abgebaut werden, befindet sich auf vielen Werken das Hartsalz. Damit bezeichnet man ein Gemenge von 20—22 % Sylvin, 10—15 % Kieserit und etwa 60 % Steinsalz. Der Name versteht sich daraus, daß die Härte durch den Kieserit stark erhöht ist, der viel härter ist als Steinsalz. Auch größere Mittel von Kainit (K_2SO_4, $MgSO_4$, $MgCl_2$, $6H_2O$), die immer mit Steinsalz vermengt sind, hat man angetroffen. Der Kainit, wie er direkt in den Handel gebracht wird, enthält nach Precht etwa 24 % K_2SO_4, 16,5 % $MgSO_4$, 13 % $MgCl_2$, 14 % H_2O, 31 % NaCl und 1,5 % $CaSO_4$ und Ton. Kainit kommt primär überhaupt nicht vor.

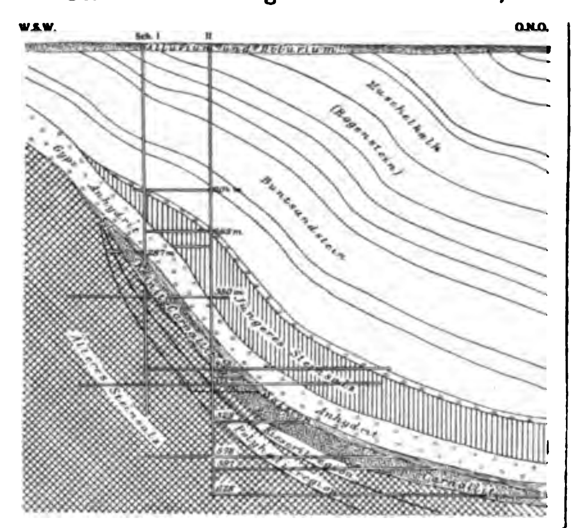


Abbildung 95. Profil durch die Salzlagerstätten des Schachtes Ludwig II. bei Staßfurt. (Nach Precht.)

Man unterscheidet jetzt zwei Perioden der Bildung sekundärer Kalisalze: eine erste, auf ursprünglicher Lagerstätte der primären Kalisalze, so besonders bei Staßfurt; eine zweite, auf fremder Lagerstätte, wie der Sylvinit bei Vienenburg und Salzdetfurth. Man kann die sekundären Kalisalze der zweiten Periode mit den Hutbildungen der reichen Sulfide von Erzlagerstätten vergleichen, die aus ärmeren Sulfiden gebildet sind. Man spricht daher mit Recht von einem Sylvin- und Hartsalzhut.

So trägt zum Beispiel das Karnallitlager von Beienrode einen 40 m hohen Hartsalzhut, das Lager von Vienenburg einen Sylvinhut.

Der moderne Kalisalzbergbau hat sich alle Fortschritte der Technik zunutze gemacht. So finden wir beim Schachtabteufen vielfach das Gefrierverfahren (zuerst in Jessenitz 1888) oder in neuester Zeit besonders das Kind-Chaudronsche Abbohrverfahren angewendet, welches die Firma Haniel & Lueg ausführte. Die Tiefe der Schächte schwankt zwischen 225 und 927 m. Letztere Tiefe besitzt der in Betrieb stehende Schacht „Siegfried I" bei Salzderhelden. Eine lange Untersuchungsstrecke des später eingestellten Kaliwerkes Schlüssel bei Salzgitter war sogar bis 1035 m Teufe vorgedrungen. Überall, auch wo es bis dahin noch nicht vorhanden ist, geht man damit um, das Zweischachtsystem einzuführen, welches die preußische Regierung allmählich zur allgemeinen Vorschrift bringen will.



Abbild. 96. Bergemühle im älteren Steinsalz bei Staßfurt mit elektrischer Bohrmaschine. (Nach Phot. des Kalisyndikats.)

Die Abbaumethoden richten sich natürlich ganz nach den sehr verschiedenen tektonischen Verhältnissen. Bei steil aufgerichteten, wenig mächtigen Kalisalzlagern werden sie ganz andere sein müssen als bei mächtigen, wenig geneigten Flözen. Früher wurden beim Pfeilerbau im Karnallit nur etwa 40% dieses wertvollen Materials abgebaut, 60% verblieben in der Grube. Deshalb ging man dazu über, die ausgehauenen Hohlräume mit Steinsalz aus dem älteren Steinsalzlager auszufüllen oder auch durch Asche, Fabrikrückstände und dergleichen von über Tage her. Das Steinsalz, welches diesem Zwecke dient, wird in Bergemühlen besonders gewonnen. Sein Abbau kann durch 20 m breite und 9 m hohe Örter mit Stehenlassen von Pfeilern und horizontalen Schweben erfolgen, da seine Festigkeit eine genügende ist. Abbildung 96 stellt die Arbeit in einer solchen Bergemühle mittelst der elektrischen Bohrmaschine unter Anwendung von Schlangenbohrern dar. Das Bild ist die Reproduktion einer Photographie, welche wir dem Entgegenkommen der Agrikulturabteilung des Kalisyndikats verdanken. Dasselbe gilt für die folgenden Figuren.

Neuerdings sind Versuche gemacht worden, auch das Spülversatzverfahren einzuführen.

Die Gewinnung der Salze geschieht ausschließlich durch Schießarbeit. Es werden teils drehend wirkende Handbohrmaschinen, teils mechanisch, durch Preßluft oder Elektrizität angetriebene Maschinen angewendet. Abbildung 97 zeigt eine Handbohrmaschine, wie sie zum Hereinschießen der Firste eines Kainitlagers im herzoglichen Salzwerk zu Leopoldshall dient, und illustriert zugleich diese Art von Abbau, einen Firstenbau. Unter diesen Maschinen sind neben der Lisbethschen auch die Ulrichschen und Heiseschen verbreitet. Von den mit Druckluft betriebenen Bohrmaschinen sind namentlich die Preßluft-Bohrhämmer der Westfalia beliebt, von den elektrisch betriebenen die Bohrmaschine von Siemens & Halske, sowie die von Siemens-Schuckert. Als Bohrer bevorzugt man die auf unseren Bildern sichtbaren Schlangen-

Abbildung 97. Firstenbau im Kainit von Leopoldshall mit Handbohrmaschine.

oder Schneckenbohrer, deren Schraubenwindungen das Bohrmehl aus dem Bohrloch herausbefördern. Als Sprengmittel dient im Kalisalz Sprengsalpeter, im Steinsalz und Hartsalz auch Gelatine-Dynamit. Im Hartsalz besetzt man die Bohrlöcher zu 3/4 mit Sprengsalpeter und zuletzt mit einer Dynamitpatrone. Die letztere lockert das Gestein, der erstere vollzieht die eigentliche Zersprengung.

Bei der Streckenförderung bedient man sich der Pferde, meist aber der Seil- und Kettenförderung oder der Lokomotivförderung. Unsere Abbildung 98 zeigt einen solchen elektrischen Bahnzug auf „Agathe" bei Neu-Staßfurt. Es hat zugleich historische Bedeutung, denn das Werk war der erste Grubenbetrieb, der elektrische Lokomotiven einführte, und zwar schon 1880, nur ein paar Jahre nach deren Erfindung durch Werner Siemens.

Bei geneigt liegenden Lagern gelangen Bremsberge zur Anwendung.

Die Fördermaschinen der Schächte werden neuerdings meist elektrisch angetrieben, wie denn überhaupt die elektrische Kraftübertragung einen früher ungeahnten Umfang auf den Kaliwerken angenommen hat. Dies geht am besten aus der Abbildung 99 hervor, welche die splendid ausgestattete Kraftzentrale des Kaliwerkes Friedrichshall bei Sehnde in Hannover darstellt (nach einer Photographie, die uns dieses Werk zur Verfügung stellte). In dieser sind drei Generator-Dampfmaschinen zur Aufstellung gelangt, deren größte eine Tandem-Verbund-Maschine von G. Egestorff, Hannover-Linden, bei 8 Atm. Betriebsdruck und 107 Umdrehungen 900—1200 P. S. zu leisten vermag. Sie betreiben je einen als Schwungradmaschine ausgebildeten Drehstromgenerator von 2100 Volt Spannung, deren größter eine Leistung von 468 Kilowatt hat. Speziell für die elektrische Förderung dienen auf diesem Werke Anlaß- und Pufferdynamomaschinen.



Abbildung 98. Elektrische Lokomotive auf der 300 m-Sohle der Grube Agathe bei Neu-Staßfurt.

Die Bewetterung hat darauf Rücksicht zu nehmen, daß auf manchen

Kalisalzlagern schädliche Gasausströmungen beobachtet worden sind. Sogar Schlagwetterexplosionen sind als Seltenheit vorgekommen. Auf die betreffenden Maßregeln wie auch auf die Wasserhaltung kann hier nicht eingegangen werden.

Nur ganz kurz sollen einige wichtigere Arbeiten erwähnt werden, die mit den Rohprodukten des Kalibergbaues vorgenommen werden, um sie in verkäufliches Gut zu verwandeln, denn nur ein Teil der Kalisalze ist sofort marktfertig, sobald er die Grube verlassen hat.

Die geförderten Salze werden zunächst den Vormühlen (Steinbrechern und Glocken-

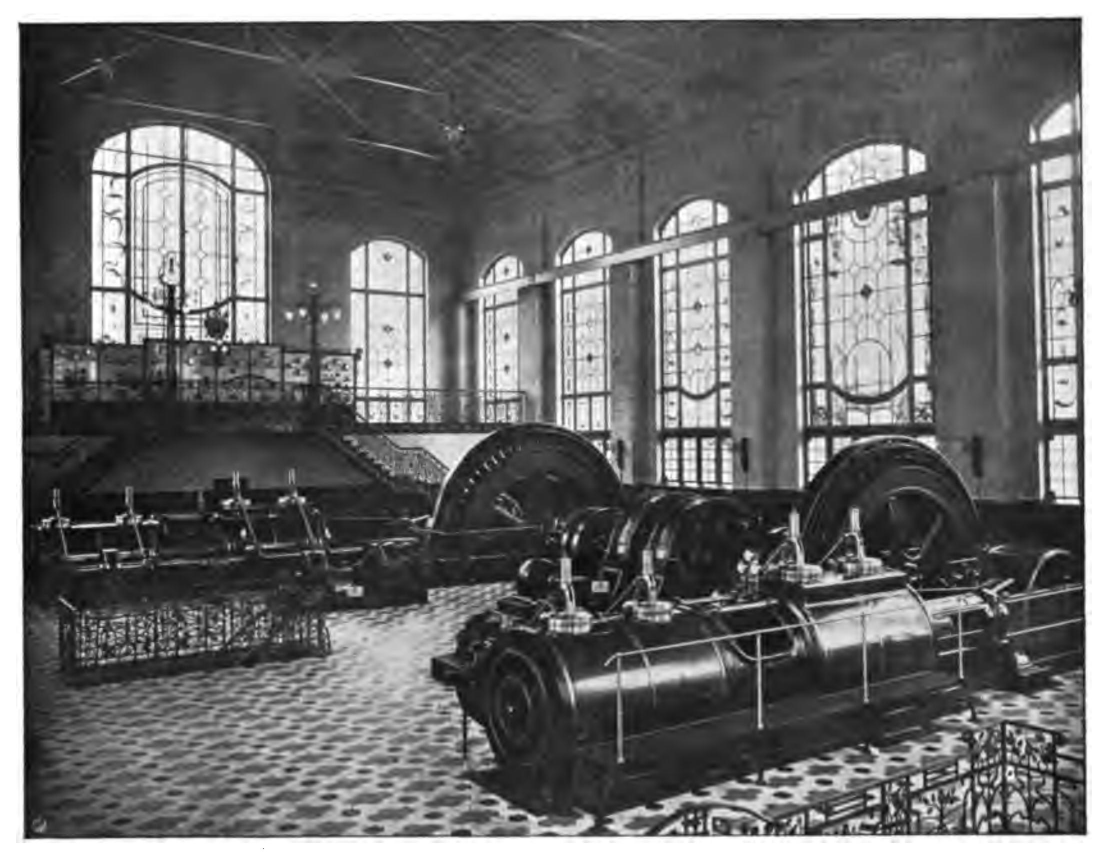


Abbildung 99. Die elektrische Kraftstation von Friedrichshall bei Sehnde in Hannover.

mühlen, auch Kaffeemühlen genannt) und den Feinmahlapparaten übergeben, von denen unsere Abbildung 100 Kainitmühlen auf dem Schachte Berlepsch zu Staßfurt vorführt. Durch Becherelevatoren und Transportschnecken wird das Mahlgut, nachdem automatisch eine Durchschnittsprobe entnommen ist, nach den hochstehenden Lösekesseln befördert. Diese werden jetzt aus Gußeisen verfertigt und enthalten im Innern einen Siebboden, unterhalb dessen ein Dampfverteiler die Löselauge erhitzt. Als solche dient eine Abfallauge, welche 10—20 % Chlormagnesium enthält, wie auch etwas Chlornatrium, Chlorkalium und Magnesiumsulfat. In die zum Kochen erhitzte Flüssigkeit hinein läßt man durch einen Trichter das zerkleinerte Rohsalz fallen. Steinsalz und Kieserit bleiben ungelöst zurück. Die fertige, an Chlorkalium reiche trübe Lösung wird in Klärkästen ihrer Schlammteile beraubt. Die Abbildung 101



Abbildung 100. Kainitmühlen auf der Kaligrube Berlepsch bei Staßfurt.

stellt eine Kläranlage der Achenbach-Fabrik bei Staßfurt dar und zeigt zur Linken Filterpressen, rechts Klärkästen.

Alsdann folgt die Arbeit in den in Abbildung 102 von derselben Fabrik abgebildeten Kristallisierkästen. Das auf dem Boden ausgeschiedene Chlorkalium ist mit Chlornatrium gemengt. Es wird, wie die Abbildung zeigt, zusammengeschaufelt, um durch Waschen mit Wasser, durch das Decken bei gewöhnlicher Temperatur von Chlornatrium und Chlormagnesium befreit zu werden. Hierauf brachte man das Salz früher zum Trocknen auf die Herdsohle der Kalzinieröfen, einer Art Flammöfen. Diese Öfen sind neuerdings meist durch die Thelenapparate verdrängt worden, gußeiserne 7 m lange Mulden, die durch ein direktes Feuer erhitzt werden. Das auf ihnen getrocknete und danach abgesiebte Chlorkalium mit 70—98% KCl ist fertig zum Verpacken. Die bei den geschilderten Verfahren gebrauchte Decklauge, die Lauge vom Abpressen des Klärschlammes der Rohsalzlösung und sonstige Waschwässer werden immer wieder zum Lösen des Rohsalzes verwendet. Bei der Verarbeitung von Hartsalz wird das Rohsalz feiner vermahlen und die Lauge im Lösekessel durch ein Rührwerk in ständiger Bewegung erhalten.

Die Gesamtproduktion an Chlorkalium, auf eine Ware von 80% berechnet, betrug nach Precht und Ehrhardt im Jahre 1905 2547107 Doppelzentner, wovon 898678 dz im Inlande verbraucht wurden.

Außer dem Chlorkalium werden große Mengen von Kalidüngesalzen dargestellt, welche die Landwirtschaft neben dem rohen Sylvinit, Hartsalz, Kainit und Karnallit verbraucht. Die Kalidüngesalze werden fast

Abbildung 101. Kläranlage der Achenbach-Fabrik bei Staßfurt, links die Filterpressen.

durchweg zum Export bestimmt, der wegen der Verteuerung durch hohe Frachten den Rohprodukten kalireichere Präparate vorzieht.

Auf die vielen anderen Fabrikate der Kaliwerke, wie z. B. Kaliummagnesiumsulfat, Kaliumsulfat, Glaubersalz, Brom und Chlormagnesium, soll hier nicht eingegangen werden.

Von der Gesamtproduktion von Kali werden gegenwärtig etwa 85% zu Düngezwecken verwendet. Der ganze Landwirtschaftsbetrieb in Deutschland hat sich an die fortdauernde Ausnutzung dieser unerschöpflichen Quelle neuer Kraft für die Ertragsfähigkeit der Ackerböden angepaßt. Der Export ins Ausland ist ebenfalls in ständigem Steigen begriffen, in demselben Maße, wie die jungfräulichen Böden der neuen Kulturländer sich erschöpft zu zeigen beginnen und der künstlichen Düngung bedürfen. Auch in Zukunft blüht daher Deutschland in seinen Kalisalzlagerstätten ein Bodenschatz von unendlichem Werte, um den es andere Nationen beneiden. Die schnelle Einführung der Kalidüngung und damit die volle Ausnutzung der von der Natur gebotenen Gaben verdankt man in erster Linie der aufklärenden Tätigkeit der Agrikulturabteilung des Kalisyndikats, welches diesem Zwecke jährlich etwa 2 Millionen Mark opfert. Der Verkaufswert aller Kaliprodukte, die durch das Syndikat geliefert werden, betrug nach R. Ehrhardt im Jahre 1907 etwa 90 Millionen Mark. Begünstigt wurde dieses Ansteigen des Kaliverbrauchs durch die gewaltige Entwicklung der Phosphatdüngerindustrie, die sich, wie später gezeigt werden soll, immer neue Lagerstätten von Rohmaterialien dienstbar machen konnte. In gleichem Sinne wirkte das Thomasverfahren in der Eisenindustrie, welches der Landwirtschaft in seinem Thomasmehl ebenfalls ein wertvolles Phosphat zuführte. Denn in der Landwirtschaft müssen Kali- und Phosphatdüngung Hand in Hand gehen. Wenden wir uns jetzt zu einem dritten Bodenprodukt, das zur Verbesserung der Fruchtbarkeit unserer Äcker dient, das aber leider nur von auswärts eingeführt werden kann.



Abbildung 102. Kristallisierkästen der Achenbach-Fabrik.

DIE SALPETERLAGERSTÄTTEN. Von den natürlichen Nitraten kommt für die industrielle Verwertung in größerem Stile nur der Natronsalpeter ($NaNO_3$) in Frage, ein mit dem Kalzit isomorphes Mineral, das im reinsten Zustand farblos ist und 26,49 Natron und 63,51 Salpetersäure enthält. Der als Gestein auftretende Rohsalpeter ist indessen stark mit Chlornatrium, mit Sulfaten des Natriums sowie auch Jod- und Bromverbindungen vermengt und enthält in sehr wechselnder Menge erdige Bestandteile. Daher schwankt auch seine Farbe zwischen schneeweiß, schwefelgelb,

orange bis zu violett, reinblau und braun. Er zieht begierig Feuchtigkeit an und zerfließt leicht. Gelbgefärbter Rohsalpeter enthält meist besonders viel Jod, und zwar als Lautarit (Kalziumjodat) seltener als Dietzeït (Kalziumjodat-Chromat).

Die größte Verbreitung auf der Erde hat der Rohsalpeter in Chile, in den trockenen nördlichsten Regionen dieser Republik zwischen dem 18. und 27. Grad südl. Breite innerhalb der Provinzen Tarapacá und Antofagasta. Die Vorkommen liegen alle in einer nur 3 km breiten, 1000—1600 m hoch gelegenen Zone auf der östlichen Abdachung der Küstenkordillere innerhalb der Wüsten Tamarugal und Atacama. In diesen fast vegetationslosen Erdstrichen regnet es gewöhnlich nur alle 3 bis 4, zuweilen auch 8 oder 10 Jahre. Die von den Anden herabströmenden Flüsse versickern rasch in dem ausgetrockneten Erdreich, das vorzüglich aus Sanden, Tonen und Geröll besteht. Somit sind die Bedingungen zur Ansammlung verschiedener Salze gegeben, die unter anderen Klimaten leicht wieder aufgelöst würden. Unter diesen Salzen überwiegen an Mächtigkeit sowohl wie Ausdehnung das Steinsalz, das Natriumsulfat und andere Wüstensalze, die entweder die obersten Bodenschichten ganz imprägnieren oder geschlossene Ablagerungen in seichten Mulden bilden. Die minder verbreiteten Salpeterablagerungen (Salitreras) sind am Rande solcher mit den anderen Salzen erfüllten Becken (Salares) angeordnet.

Das Bodenprofil ist in den Salpetergegenden gewöhnlich wie folgt entwickelt. Zu oberst lagert die Chuca, ein meist nur 15—20 cm mächtiger lockerer gipshaltiger Sand. Darunter folgt die Costra, ein Konglomerat von ein paar Metern Mächtigkeit. Es besteht aus Geröllen von Feldspatgesteinen und ist mit Alkalisulfaten imprägniert, enthält zu unterst zuweilen auch als „Congelo" schon Salpeter. Im Liegenden ruht der Rohsalpeter, die sogenannte Caliche (gesprochen: kahlihtsche). Er kann bis 2 m mächtig sein, erreicht aber meist nur 40—80 cm. Zu unterst lagert die Coba, ein sehr salpeterarmer, meist etwas feuchter Sand, Ton oder Schutt.

Der Gehalt der Caliche an Natriumnitrat ist höchst schwankend. Die besten Lagerstätten enthalten 50—60, ja bis 80%. Bei 18—20% hört die Bauwürdigkeit auf. Manche Vorkommen führen daneben etwas Kalisalpeter, andere den im höchsten Grade zerfließlichen Kalksalpeter.

Unter den verschiedenen Theorien zur Erklärung dieser Salpeterlager hat immer noch die größte Wahrscheinlichkeit für sich die, welche von ehemaligen Guanolagern ausgeht. Das dortige Gebiet ist nachweisbar erst vor geologisch ganz kurzer Zeit gehoben. Es hat früher ein Meeresbecken gebildet, an dessen Gestade sich Guanomassen anhäufen konnten, wie noch heute auf den Inseln draußen im stillen Ozean. Ihr Nitratgehalt konnte ausgelaugt und in gelöster Form dem Wasser dieses Beckens zugeführt werden, bei dessen allmählicher Austrocknung die Salzpfannen hinterblieben. Immerhin ist auffällig, daß dann nicht auch Phosphatlagerstätten in der Salpeterregion sich bilden mußten. Reste von Guano selbst sind aber tatsächlich auf manchen Salpeterfeldern nachgewiesen worden.

Die Gewinnung der Caliche geschieht mittelst Tagebaues, nachdem zunächst das Hangende weggeräumt worden ist. Häufig wird die Salpeterschicht zunächst durch Sprengpulver gelockert. Die Massen werden gleich an Ort und Stelle durch Handscheidung angereichert und sodann auf Karren oder mit Grubenbahnen zu den Laugereien, den Officinas, gefahren. Dort erfahren sie eine Zerkleinerung in Steinbrechern und werden danach in Kesseln mit Wasser ausgelaugt, das durch Dampfschlangen erhitzt wird. Dies Verfahren ist durch die Notwendigkeit der Zuleitung von Wasser aus weiter, in Tarapaca 3—6 km betragender Ferne erschwert. In Taltal sind





Abbildung 103. Ansicht der Officina-Rica-Aventura der Gesellschaft H. B. Sloman & Co. bei Toco.

die Wasserleitungen noch länger, und in Antofogasta war überhaupt kein Wasser zu beschaffen, so daß der Rohsalpeter zur Küste transportiert werden mußte. Aus den Kesseln gelangt die Lauge in offene Pfannen. Der hier ausgeschiedene Salpeter wird auf Trockenbühnen getrocknet und in Säcke verpackt. Aus der Mutterlauge wird durch saures schwefligsaures Natron das Jod ausgefällt, zunächst als „Jodkäse", der vermittelst von Sublimation in tönernen Retorten das Jod liefert. Dieses wird in Fäßchen versandt. Abbildung 103 gibt die Ansicht eines modernen Salpeterwerkes wieder.

Als wichtigste Ausfuhrhäfen, die mit den Salpeterfeldern durch Eisenbahnen verbunden sind, kommen in Betracht im Norden vor allem Iquique und ferner Pisaqua, im Süden Tocopilla, Antofagasta, Taltal und andere.

Die Caliche-Lagerstätten sollen im 18. Jahrhundert in Tarapacá durch den Portugiesen Negreiros entdeckt worden sein, der durch das Aufflammen seines Lagerfeuers und das Verpuffen des salzhaltigen Bodens aufmerksam gemacht worden war. Während die Gesamtverschiffung Südamerikas an Salpeter 1830 nur 850 t betrug, war sie 1900 auf 1,47 Millionen t angestiegen, wovon etwa 2/3 zur Benutzung als Düngemittel, 1/3 zur Darstellung von Salpetersäure und Schießpulver verwandt werden. Alle chilenischen Nitratlagerstätten gehören dem Staate, der sie an Unternehmer zur Ausbeutung verkauft.

Nur geringe Bedeutung haben bis jetzt die kalifornischen Nitratlager erlangt, die in geologischer Beziehung den chilenischen ähneln. Sie liegen in der Mohave-Wüste der Grafschaften San Bernardino und Ingo im Südosten des Staates. Das Nitrat findet sich hier an den ehemaligen Ufern eines ausgetrockneten Salzsees, der heute als „Death Valley" benannt ist. Die dortige Caliche soll viel ärmer als die in Chile sein.

Es mag erwähnt sein, daß namentlich in früheren Zeiten auch natürlicher Kalisalpeter ausgebeutet worden ist, so der sogenannte Kehrsalpeter, der bei Kálló und anderen Orten in Ungarn aus dem durch die weidenden Herden stark gedüngten Steppenboden ausblüht, und der Salpeter in manchen Höhlen von Kalksteingebirgen, wo er infolge der Anhäufung von Fledermausexkrementen sich entwickelt.

NATÜRLICHE LAGERSTÄTTEN VON SODA, GLAUBERSALZ UND BORAX.

Beim Eintrocknen von Salzseen und Salzsümpfen innerhalb von abflußlosen Becken sehr trockener Länder scheiden sich zuweilen, wenn es die ursprüngliche eigenartige chemische Zusammensetzung des Wassers solcher Salzpfannen bedingt, auch andere Salze ab, als die bisher von uns behandelten, nämlich natürliche Soda, Glaubersalz und Borax, so daß man wohl von Soda- oder Natronseen, Glaubersalz- und Boraxseen spricht.

An Soda reich sind manche Striche der von uns geschilderten Salpeterregion im nördlichen Chile, wo sich neben Kochsalz, Glaubersalz und Salpeter auch einige seltenere Verbindungen finden, die hier erwähnt sein mögen: der Thenardit, ein wasserfreies schwefelsaures Natrium, der Blödit, ein Magnesium-Natriumsulfat, der Glauberit, ein Kalzium-Natriumsulfat, bei dem Orte Pintados auch der Pickeringit, ein Magnesia-Alaun.

Seit lange bekannt sind die Natronseen in Ägypten und anderen Wüstengebieten Nord- und Ostafrikas. Die Hauptmasse des Natriumkarbonats findet sich hier als Thermonatrit ($Na_2CO_3 + H_2O$) sowie als Trona ($Na_2CO_3 \cdot NaHCO_3 + 2\,H_2O$). Auch die Gegend von Lagunillas in Venezuela, von Nizam in Ostindien und der Boraxsee in Kalifornien enthalten diese Karbonate.

Glaubersalz oder Mirabilit ($Na_2SO_4 + 10\,H_2O$) kennt man bei Bompensieri in Sizilien als eine bis 2 m mächtige Schicht im Steinsalzgebirge. Auch anderwärts kommen Lagen davon mit Steinsalz abwechselnd vor, so bei Logroño und Lodosa im Ebrotale in Spanien. In der Kirgisensteppe um Barnaul am Altai sind gewisse Depressionen von konzentrierten Lösungen dieses Sulfates, andere mit solchen von Kochsalz erfüllt. Die sibirische Sodafabrik in Barnaul vermochte das Natriumsulfat dieser Salzseen direkt zur Herstellung von Natriumkarbonat nach dem Leblancschen Verfahren zu verwenden. Das Glaubersalz setzt sich in manchen dortigen Seen in dicken kompakten Schichten ab mit einem Gehalt von 97 % reinem Sulfat. Auch der See Schunet im Minussinskischen Kreise des Gouvernements Jenisseisk gibt reines Glaubersalz. Es fehlt ferner nicht in den seichten Salz- und Bitterseen der rumänischen Lößebene.

Tinkal, der natürliche Borax ($Na_2B_4O_7 + 10\,H_2O$) ist am längsten aus den hochgelegenen Wüsten und Steppen von Tibet bekannt. Sehr reichlich und in bis 7 cm großen Kristallen hat man ihn auf dem Boden des Clear-Sees in Kalifornien angetroffen, wie auch in Nevada. Eine ziemliche Bedeutung für die Fabrikation von Borsäurepräparaten hat der Pandermit ($Ca_2B_6O_{11} + 3\,H_2O$) erlangt. Er bildet knollige Konkretionen und größere Stöcke inmitten von grauem Gips bei Panderma am Schwarzen Meer und in den Hamidieh Borazitgruben von Balykessr in Kleinasien. Um 1900 wurden in Kleinasien jährlich 10—15000 t Pandermit gewonnen.

21. PHOSPHATE UND IHRE VERARBEITUNG

Das Urmineral, aus dem alle Phosphorverbindungen der Erde sich ableiten lassen, ist der Apatit. Auf seiner überaus großen Verbreitung, man kann beinahe sagen seiner Allgegenwart mindestens in mikroskopisch kleinen Kriställchen und Körnchen, beruht das Leben der Pflanzen, die der Phosphorsäure, wenn auch nur in geringen Mengen, zu ihrem Gedeihen bedürfen. Aus den pflanzlichen Stoffen wieder stammt der Phosphorgehalt der Knochensubstanz und vieler anderer Hartteile, aber auch des Gehirns der Tiere, die somit auch von der Existenz des Apatits abhängig sind, anderseits aber dazu bei-

tragen, daß sich aus gelösten Apatiten neue Phosphorsäuremineralien bilden, die als Phosphorit, als das heute wichtigste Rohmaterial für die Herstellung der Superphosphate, dienen, jener künstlichen Düngemittel, ohne welche die moderne Landwirtschaft nicht mehr bestehen könnte.

Der Apatit ist ein hexagonales Mineral von der Zusammensetzung $3\,Ca_3P_2O_8 \cdot Ca(Cl, F, OH)_2$, wobei bald Cl, bald F überwiegen oder auch allein herrschen kann. In winzigen Kriställchen enthalten ihn alle Eruptivgesteine und alle kristallinen Schiefer. Aus solchen zerstörten Gesteinen stammen die Phosphorgehalte fast aller Sedimente. Auch viele Eisenerze sind so phosphorreich infolge eines beträchtlichen Apatitgehalts, daß man sie vor Erfindung des Thomasverfahrens nur in beschränktestem Maße verhütten konnte, so z. B. diejenigen von Gellivare und Kirunavaare in Schwedisch-Lappland.

Mitunter findet sich der Apatit aber auch in größeren kristallinen Aggregaten in Form von Gängen, die mit Gabbrostöcken verknüpft zu sein pflegen und in deren unmittelbarer Nachbarschaft das Nebengestein in ein chlorhaltiges Mineral, in Skapolith, umgewandelt sich zeigt. Solche Apatitgesteinsvorkommen, die gewöhnlich auch viel Rutil (TiO_2) enthalten, sind namentlich in Norwegen und in Kanada ausgebeutet worden. Ihr Apatit ist in der Hauptsache ein Chlorapatit von grauer, grünlicher, auch rötlicher Färbung. Das wichtigste norwegische Apatitfeld ist das 110 km lange und 25 km breite Küstengebiet zwischen Langesund und Lillesand, wo auch die bekannten Lagerstätten Ödegaarden und Kragerö liegen. Zwischen 1880 und 1890 erzeugten diese Reviere jährlich 10—15000 t. In Kanada sind namentlich die Apatitlagerstätten der Provinz Ontario wichtig. Sie führen zum Teil zugleich brauchbaren Glimmer.

Viel größere Bedeutung haben für die moderne Phosphatindustrie erlangt, ja beinahe ausschließlich noch für diese in Frage kommen die sedimentären Phosphoritlagerstätten. Unter Phosphorit versteht man die kryptokristallinen, feinfaserigen, dichten und erdigen Varietäten des Minerals Apatit, die namentlich auch gern in nierigen Massen, in schaligen Krusten und radialstengeligen Kugeln inmitten normaler Sedimentgesteine sich finden, oder das Versteinerungsmittel von tierischen Hartteilen, von Schalen und Knochen sowie den Hauptbestandteil der Kotballen von ausgestorbenen Fischen und Sauriern, der sogenannten Koprolithen, bilden.

Die wichtigsten Vorkommen dieser Art liegen in den amerikanischen Staaten Florida, Tennessee und Süd-Carolina. Die Florida-Phosphate bilden unregelmäßig Massen und Ausfüllungen von Taschen in ganz regelloser Anordnung inmitten der dortigen tertiären Kalksteine verschiedener Stufen. Nach ihrer Entdeckung im Jahre 1889 bei Dunellon wurden sie über ganz ausgedehnte Gebiete hin nachgewiesen, so daß die Produktion 1908 bis auf 1673651 t angeschwollen war. Ein Teil der dortigen Lagerstätten gehört den allerjüngsten Tertiärstufen an und führt die Phosphorite als „Pebbles", d. h. als gerollte Fragmente, die aus der Zerstörung der älteren Ablagerungen hervorgegangen sind, so besonders am Peace River. Der Abbau der Florida-Phosphate erfolgt in großartigen Tagebauen unter Anwendung von Baggern (Dampfschaufeln). Auch das früher bei den Goldseifen geschilderte hydraulische Verfahren findet Anwendung bei der Entfernung des Abraumes. Die Mächtigkeit der Lager steigt bis 20 m an. Auch unterirdische Abbaue durch Schächte sind vorhanden. Nach der Förderung werden die Haufwerke gewaschen, getrocknet und maschinell zerkleinert.

Auch die Vorkommen in Süd-Carolina gehören dem jüngeren Tertiär an. Die Phosphatschichten enthalten nebenbei zahlreiche Haifischzähne und Knochen von Meer-

säugetieren, aber auch eingeschwemmte Reste von Landtieren, wie z. B. Zähne des Mastodon. Die früher viel größere Produktion war 1908 auf 290000 t zurückgegangen.

Viel älter sind dagegen die Phosphorite von Tennessee, die ins Devon gestellt werden. Hier wurden 1908 430180 t erzeugt.

Unmittelbar hinter den Vereinigten Staaten kommen in der Höhe der Produktion nach dem Ergebnis von 1907 nach Ingalls die Lagerstätten von Tunis, die dem untersten Eozän angehören (1040300 t), Frankreich (in der Kreideformation, 375000 t) und Algier (unterstes Eozän, 315000 t). Auch Belgien mit seinen Phosphatlagern in der Kreideformation ist nennenswert (180000 t).

Die sehr wichtigen Phosphatlagerstätten in Tunis sind besonders bei Gafsa in großartigen Tagebauen in Ausbeutung begriffen. Sie bilden hier Knollen und Lagen inmitten schwärzlicher, salz- und gipsführender Mergel, die von Kalksteinen mit Nummuliten überlagert werden.

Eine besondere Klasse von Phosphaten sind die Guanophosphate, die sich überall dort gebildet haben, wo Guano (siehe später) auf Korallenkalk oder einem älteren Kalkstein aufruht. Sie kommen dementsprechend nur auf Guanoinseln oder solchen Inseln vor, die früher einmal eine Decke von Guano getragen haben. Dieser wurde ausgelaugt und sein Phosphorsäuregehalt durch Sickerwässer jenen Kalken auf Klüftchen und Schichtfugen oder unmittelbar auf der Auflagerungsfläche zugeführt. Es vollzog sich Molekül um Molekül ein Austausch des leichter löslichen Karbonats mit dem schwerer löslichen Phosphat des Kalziums. Der so entstandene Phosphorit bildet gern krustenförmige oder auch oolithische Aggregate. Am frühesten ausgebeutet wurden die Guanophosphate der Antilleninseln, so diejenigen auf der kleinen Felseninsel Sombrero (Sombrerit) sowie auf Curaçao. Neuerdings sind gewisse Südseeinseln, zum Teil auch solche in deutschem Kolonialbesitz, in sehr lebhafte Produktion eingetreten, so namentlich Christmas Island südlich von Hawai, nahe am Äquator, neuerdings Nauru zwischen den Gilbert- und den Salomoninseln und Feis in den westlichen Karolinen. 1908 war die Phosphatproduktion der Südsee schon auf 300000 t angewachsen.



Abbildung 104. Brütende Pelikane auf der Chinchas-Südinsel. (Nach einer Photographie der Anglo-Continentalen, vormals Ohlendorffschen Guanowerke.)

Hier möge auch auf die eigentlichen Guanolager hingewiesen werden, deren berühmteste diejenigen der Chinchainseln gegenüber von Pisco an der peruanischen Küste sind. Das altperuanische Wort huano bedeutet Mist. Auf den Chinchas ist es wesentlich der Mist von Millionen von Pelikanen, der sich zu einer bis 32 m mächtigen Ablagerung angehäuft hat. Die Abbildung 104 zeigt einen solchen Vogelschwarm. Neben dem

Vogelkot nehmen auch die Reste der in der Hauptsache aus Seefischen bestehenden Beute dieser Tiere an dem Aufbau dieser Massen teil, deren chemische Zusammensetzung neben Kalziumphosphat auch bedeutende Mengen von harnsaurem und oxalsaurem Ammon aufweist Auch an der Ostküste Patagoniens, im Hawaiischen Archipel und nahe der Westküste von Südafrika hat man solche Guanoinseln ausgebeutet. Für Peru ergeben die Chinchas ein sehr erhebliches Staatseinkommen. Schon die alten Incas hatten dies erkannt und die segensreiche Arbeit der Vögel durch strenge Schutzmaßregeln geschützt. Der größte Teil des Guanos konnte ohne weiteres der Landwirtschaft als Düngemittel zugeführt werden, manche Sorten dagegen bedürfen vorher einer chemischen Bearbeitung, wie die im folgenden zu schildernde, die man bei Apatit und Phosphorit anwendet.

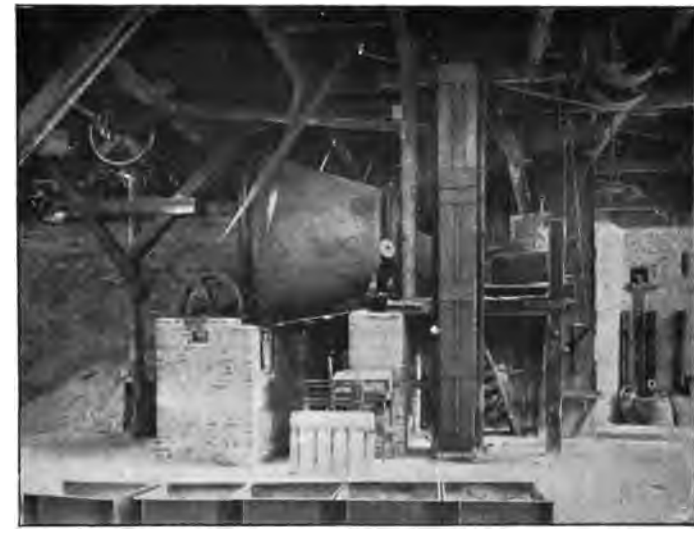


Abbildung 105. Die Rapssche Mischmaschine.
(Nach einer Photographie der Metallurgischen Gesellschaft zu Frankfurt.)

Da das Kalziumphosphat im Wasser unlöslich ist, also von der Pflanzenwurzel als solches nicht aufgesogen und im Organismus verarbeitet werden kann, muß es die Technik zunächst in eine lösliche Form überführen. Dies geschieht durch Behandlung mit Schwefelsäure, zwei Moleküle auf ein Molekül Phosphat, wobei neben Gips Monokalziumphosphat entsteht. Das Gemisch von beiden wird Superphosphat genannt. Naturgemäß sind die Superphosphatfabriken hauptsächlich in unmittelbarer Nähe großer Schwefelsäurefabriken entstanden. So z. B. rief die Schwefelsäuregewinnung der fiskalischen Schmelzhütten zu Muldenhütten und Halsbrücke bei Freiberg die hochentwickelte Phosphatindustrie dieser Stadt hervor.

Die rohen Phosphorite werden in den Superphosphatfabriken zunächst in Steinbrechern zerkleinert und in Walzwerken sowie mittels Pendelmühlen gemahlen. Elevatoren führen die Mehle zum Mischapparat, da für die Gleichmäßigkeit des Fabrikats eine ganz gründliche Mischung der oft sehr ungleichmäßigen Rohphosphate unerläßlich ist. Man wendet jetzt allgemein die Rapssche Mischmaschine an, die wir nach einer Photographie der Metallurgischen Gesellschaft zu Frankfurt in Abbildung 105 zur Darstellung bringen. Sie besteht aus einer kegelförmigen Trommel, welche wagerecht gelagert ist und mit zwei Laufringen auf Rollen rotiert. Im Innern ist sie mit feststehenden, schraubenförmig verlaufenden Seitenwänden besetzt. Aufgabe und Entleerung des Gutes erfolgt durch die kleinere Vorderwand mittelst Einfüll- und Ausfalltrichters. Bei der Drehung wird das Mischgut beständig nach hinten an die verschlossene Wand gedrängt und dabei von unten nach oben kreuzförmig überstürzt. Zum Entleeren wird die Trommel in umgekehrter Richtung gedreht und hierbei die innige Mischung nochmals wiederholt. Danach erfolgt der Zusatz von Schwefelsäure nach sehr genau abgestimmtem Verhältnis. Die breiig gewordenen Massen laufen

in die sogenannten Keller oder Kammern ab, worin die Zersetzung sich vollzieht. Die sich entwickelnden Fluorsilizium und Flußsäure werden abgesaugt und in Kondensationstürme geleitet. Das Entleeren der Kammern, die bis 100 t fassen können, geschieht auf den Schippanschen und anderen modernen Werken mittelst des Verfahrens der Anglo-Continentalen Guanowerke. Nach einer Photographie der Metallurgischen Gesellschaft zu Frankfurt stellen wir einen solchen Apparat in der Stolberger Fabrik der genannten Firma dar. Die Abbildung 106 gibt den Apparat vor einer kleineren, nur 50 t haltenden Kammer wieder, die schon ziemlich entleert ist. Der wichtigste Bestandteil der Maschine ist ein automatisch beweglicher Arm mit einem als Kratzer wirkenden Ketten-Becherwerk, die das Material schichtenweise abträgt. Dieser Arm bewegt sich an einem Gestell, das auf Schienen ebenfalls automatisch hin und her fährt und so nach und nach den Inhalt der Kammern auf ein Transportband überträgt. Die Massen werden getrocknet, in Schleudermühlen pulverisiert auf die Schüttböden gehoben, die mit Hochbahn ausgestattet sind, und endlich kurz vor dem Versand gesiebt.



Abbildung 106. Die Anglo-Continentale Entleerungsmaschine.

HOLZ, HOLZSCHLIFF, ZELLSTOFF, FASERSTOFFE

VON OTTO JOHANNSEN

1. DAS HOLZ

Man pflegt im allgemeinen zwei Holzgattungen zu unterscheiden: Laub- und Nadelhölzer. Doch ist diese Unterscheidung keineswegs eine erschöpfende, da die klimatische Zone, in welcher die eine oder andere Gattung gewachsen ist, sehr erheblich die Struktur, die das zuverlässigste Erkennungsmittel ist, sowie Festigkeit und andere Eigenschaften des Holzes beeinflußt. Die in der Technik zum Beispiel als Bauholz verwendeten Hölzer kommen in der Hauptsache von den Laub- und Nadelhölzern dikotyler Pflanzen und werden, was in diesem Falle als Bezeichnung auch genügt, schlechtweg als „hart" und „weich" nach ihrer Struktur bezeichnet, obzwar es auch Laubhölzer gibt, die zu den „weichen" gerechnet werden müssen. Eine genauere Unterscheidung ist die in Laub- und Nadelhölzer der gemäßigten Zone, Laubhölzer der Tropen und Hölzer monokotyler Gewächse (Palmen). Die Hölzer dikotyler Pflanzen, d. s. Laub- und Nadelhölzer, entwickeln sich als Stammhölzer gleich, d. h. sie wachsen in vertikaler und horizontaler Richtung, der Höhe und Breite nach. Die Monokotyledonen (Palmen) ändern ihre Stammdicke während des Wachstums nicht, sie entwickeln sich nur in die Höhe.

Die Nadelhölzer (Fichte, Edeltanne, Kiefer, Eibe, Zeder, Zypresse usw.) bestehen aus drei Hauptschichten, die man von innen nach außen als Mark, Holz und Rinde bezeichnet. Die Zwischenschicht, das Holz, besteht im inneren Teil gegen das Mark aus den abgestorbenen Zellen des Kernholzes, nach außen aus dem Splintholz, dessen Zellen im Wachstum begriffen sind und die Weiterentwicklung des Stammes bedingen. Der äußere Teil wird deshalb auch als Jungholz bezeichnet. Die Entwicklung findet in der gemäßigten Zone periodisch statt; sie läßt sich in dem senkrecht zum Stamm geführten Schnitt an den Jahresringen deutlich erkennen. Die eigentliche Triebperiode ist die des Frühlings, in ihr treiben alle Teile der Pflanze, nebst dem Stamm auch die Äste usw.; die Zellen des Holzes sind weniger verdickt (Frühlingszellen 1, 2, 3, 4 in Abbildung 2); die Herbstzellen oder Sommerzellen dagegen sind weniger weich und mehr verdickt, so daß die im nächsten Frühjahr ansetzende Schicht sich deutlich von der des vorhergehenden Jahres abhebt (daher geben in Abbildung 2 die Kreise 1, 2, 3, 4 Jahresringe an). In dieser Weise entstehen die Jahresringe, die eine ziemlich genaue Schätzung des Alters des Stammes gestatten. In den Tropen, die keine so scharfen klimatischen Unterschiede aufweisen, treiben die Stämme oft während des ganzen Jahres fort, so daß die Jahresringe meist viel weniger deutlich erkennbar sind. Bei jungen Stämmen besteht beinahe der ganze Stamm aus Splintholz, bei älteren macht der Splint 40—50% aus. Das Kern- oder Herzholz hat eine dunklere, von chemischen Veränderungen herrührende Farbe. Die Jahresringe sind durchaus nicht gleich, nicht bloß untereinander von Jahr zu Jahr, sondern auch innerhalb desselben Ringes können erhebliche Unterschiede auftreten. Da das im Sommer gebildete Holz fester ist als das Frühlingsholz und ersteres im

unteren Stamm vorwiegt, pflegt die Festigkeit des unteren Teiles der Stämme auch eine größere zu sein.

Der Stamm der Nadelhölzer verjüngt sich stets nach oben. Die Schnitte, die an einem Stamm ausführbar sind, können unterschieden werden in

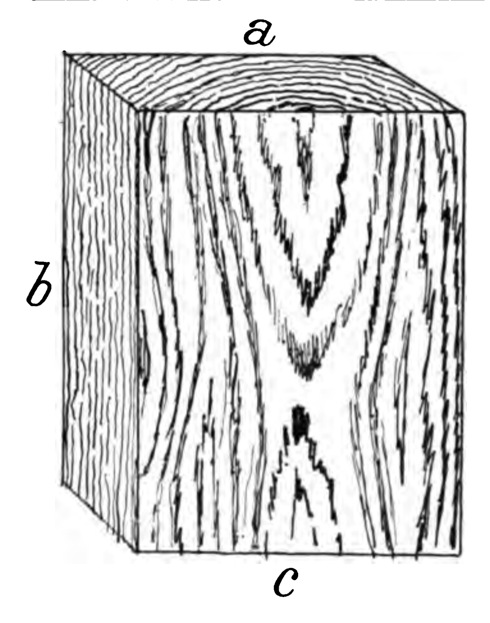
1. Hirnschnitt oder Querschnitt (a in Abbildung 1 und a in Abbildung 2) senkrecht zur Achse des Stammes; die Jahresringe treten hier deutlich hervor;

2. Radialschnitt oder Spiegelschnitt b durch die Längsachse des Stammes; die sogenannten Markstrahlen m m_1 m_2, welche vom inneren Nahrungsgewebe des Markstranges bis zur Rinde durchgehen und die Verbindung zwischen beiden herstellen, bilden beim Radialschnitt glatte, glänzende Stellen, daher auch die Bezeichnung Spiegelschnitt;

3. Tangential- oder Fladerschnitt c, auch Sehnenschnitt genannt, weil die Durchschneidung parallel zu einer Sehne erfolgt. Hier treten die Jahresringe als Maserung auf, das ist eine Zeichnung, die aus der Überquerung der zum Beispiel senkrecht geführten Säge mit den nicht senkrechtstehenden Hohlkegelflächen des nach oben verjüngten Stammes entstehen. In Abbildung 2 ist durch M die Markröhre des Stammes veranschaulicht, m m_1 und m_2 sind Markstränge oder Markstrahlen, die vom inneren Markrohr M radial nach außen gegen die Rinde verlaufen und deren Ernährung besorgen; die Markstrahlen ergeben beim Radialschnitt Spiegelflächen, daher auch Spiegelschnitt. Solche Markstrahlen können natürlich auch — wie bei n — im Hirnschnitt und Tangentialschnitt sichtbar werden. Bei 1, 2, 3, 4 sind die Frühjahrszellen, die sich deutlich von den dichteren Sommerzellen abscheiden, angedeutet, d. h. 1, 2, 3, 4 geben Jahresringe an. Die Abbildung ist natürlich nur eine schematische Darstellung, die Zellenform soll durch sie nicht wiedergegeben sein.

Die Struktur des Holzes ist durch den anatomischen Aufbau bedingt und kann bei Nadelhölzern als nicht kompliziert gelten. Die Hauptmasse wird von den in der Längsrichtung des Stammes gelagerten, 1—2 mm langen, oben und unten geschlossenen und etwa 70—80 mal dünneren Holzfasern (Tracheïden) gebildet, zwischen welchen sich die im Querschnitt deutlich erkennbaren Porenkanäle befinden. Das Sommerholz enthält in den Poren Harz, und diese Harzporen bilden meist durch hellere Ränderung deutlich erkennbare Flecken (Hoftüpfel, Poren). Da die Tracheïden des Frühlings dünnere Wandung und auch etwas anders geartete Form besitzen, im Gegensatz zu den dickwandigeren Sommerzellen, entsteht ein verändertes Schnittaussehen, das die Unterscheidung der Jahresringe wesentlich erleichtert. Die Zellen der Mark- oder Spiegelstrahlen (m_1 m_2 m_3) sind nach dem Verlauf der letzteren radial gelagert, und zwar ebenfalls in voriger Anordnung (vgl. Abbildung 2), so daß sie senkrecht zu den Tracheïden liegen. Nicht alle Nadelhölzer führen indessen Harzporen, so haben z. B. die Zedern und Zypressen keine.

Die Laubhölzer (Eiche, Buche, Linde, Buchsbaum, Esche, Ulme, Pappel, Weide, Birke usw.) besitzen zwar im allgemeinen dieselbe Zusammensetzung des Stammes aus Rinde, Splint, Kern und Mark, ihre Zusammensetzung ist aber doch viel komplizierter und besteht nicht nur aus längeren Tracheïdenzellen, sondern aus Gefäßen, verschieden geformten faser- und gefäßartigen Tracheïden, sodann aus durch Verholzung bzw. infolge der Durchsetzung mit Holzsubstanz (Lignin) starr gewordenen Zellen, den sogenannten Libriformfasern, wie auch aus Parenchymzellen, das sind kleinere Zellen als die Tracheïden. Die Holzzellen der Laubhölzer sind viel kürzer als die der Nadelhölzer und haben nur eine Länge von 0,5—1 mm. Das Frühjahrsholz ist stark mit Poren durchsetzt, und hiervon rührt bei den Laubhölzern vornehm-



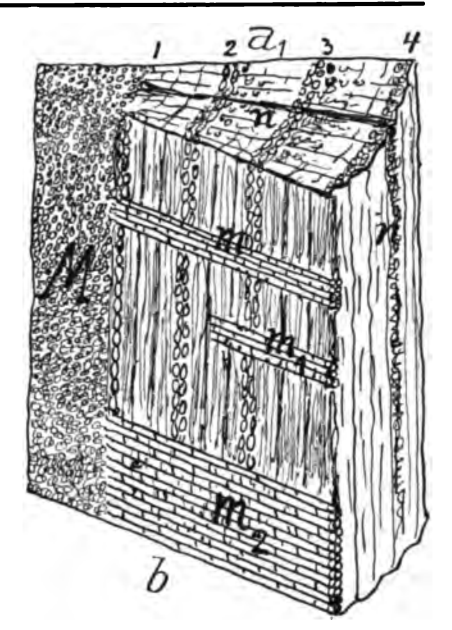


Abbildung 1. Abbildung 2.
a Hirnschnitt; b Radial- oder Spiegelschnitt; c Tangential- oder Fladerschnitt; 1, 2, 3, 4 Jahresringe; m, m_1, m_2 Markstrahlen.

lich die Maserung her, im Gegensatz zu den Nadelhölzern, wo die dunklere Färbung die Zeichnung hervorbringt. Das Sommerholz enthält dickwandige Zellen, ist dichter und wenig porös und bildet die Hauptmasse des Holzes, von der auch die Festigkeit abhängt. Die Markstrahlen sind deutlich erkennbar und betragen etwa 1/4 der Gesamtmasse. Die Lagerung der Zellen ist bei den Laubhölzern eine wesentlich unregelmäßigere als bei den Nadelhölzern, auch die Jahresringe treten nicht so deutlich wie bei diesen in die Erscheinung: oft sind die Ringe breit, wie bei großfaserigem Material, während das feinfaserige schmale Ringe hat. Die Fasern sind seltener parallel zur Achse gelagert, oft liegen sie windschief zu derselben, oder sie sind wellenförmig und schraubenförmig gedreht gelagert und vielfach ineinander gewachsen, wodurch die Spaltbarkeit, die bei den Nadelhölzern eine sehr gute ist, vermindert wird (drehwüchsiges Holz).

Der chemischen Zusammensetzung nach besteht die Holzfaser aus Zellulose $C_6H_{10}O_5$ (wie die Pflanzenfasern überhaupt), weshalb auch die auf chemischem Wege als Rohstoff für die Papierfabrikation gewonnene Holzfaser kurzweg als Zellulose bezeichnet wird. Abgerundet kann der Gehalt an C mit rund 50, an H mit 6 und an O mit 44% angenommen werden. Die Nadelhölzer enthalten meist um 1% mehr C und dafür weniger O als die Laubhölzer. Der Stickstoffgehalt ist gering und schwankt zwischen 1/2 und 1 1/2%. Der Feuchtigkeitsgehalt beträgt bei lufttrockenem Holz etwa 15—20%; der Aschengehalt kann zwischen 0,2 bis fast 3% betragen, im Mittel etwa 1%. Die Zusammensetzung der Asche ist verschieden, ihr wesentlicher Bestandteil ist Kalk, in geringerem Maße Natron, Kali, Magnesia, Kieselsäure usw. Die Nadelhölzer haben geringen, die Laubhölzer höheren Aschengehalt (Fichte z. B. 0,25, Eiche und Buche 0,5—0,6%).

Da der freie Zellraum leer bzw. mit Luft gefüllt sein oder auch Wasser enthalten kann, wird das Holz schwimmen oder untersinken. Das spezifische Gewicht der

Holzzellulose an sich ist größer als das des Wassers (etwa 1,5); wenn die Zellen also sehr dickwandig sind und der freie Raum nur klein ist, sinkt das Holz unter allen Umständen unter Die Zeit, innerhalb welcher sich ein Holz vollsaugt, ist naturgemäß verschieden. Grünes, noch saftiges Holz enthält so viel Feuchtigkeit, daß es rasch so viel Wasser aufgesaugt hat, wie noch zu seinem Untergehen nötig ist. Die spezifischen Gewichte der Hölzer schwanken infolge der Porosität und der Lufträume in den Zellen ziemlich erheblich und liegen fast immer unter der der reinen Zellulose. Das schwerste Holz ist das Pockholz mit lufttrocken 1,2—1,4 spezifischem Gewicht, ihm am nächsten steht Buchsbaum mit 1—1,2. Diese Hölzer gelten als sehr schwer. Zu ihnen gehören noch Ebenholz und Mahagoni. Die Eiche hat ein schweres Holz mit etwa 0,7—1 lufttrocken, etwas leichter ist die Weißbuche mit 0,6—0,9 und das Hickoryholz und Teakholz. Rotbuche ist mittelschwer (0,6—0,8), desgleichen die Esche, amerikanische Fichte (pitch pine), Akazie, der Apfelbaum und Nußbaum. Leichte Hölzer sind die vom Birnbaum (0,6—0,7), von der Lärche, Birke, Erle, wilden Kastanie, Ulme (0,5—0,8), Ahorn und Weide. Die Hölzer der Koniferen haben lufttrocken nur ein spezifisches Gewicht von 0,35—0,6 (Tanne, Fichte, Kiefer, Zeder) und stehen in einer Reihe mit den weichen Laubhölzern von der Linde und Pappel. Im Winter ziehen die trockenen Hölzer stets an und wiegen um durchschnittlich 6—7% mehr als im Sommer. Bis ein Holz lufttrocken wird, kann ein verschieden langer Zeitraum verstreichen, nach einjährigem Lager sind durchschnittlich etwa noch 20—25% Feuchtigkeit vorhanden; unter 15% kann in lufttrockenem Holze der Wassergehalt selten gebracht werden. Der Saft, der die Pflanze ernährt, ist aus Wasser und aus den im Wasser gelösten organischen und anorganischen Stoffen zusammengesetzt, er ist der Träger der Ernährung und füllt die Zellen während des Wachstums aus. Organische Stoffe: Zucker, Dextrin, Öle, Gerbstoffe, Kasein, Wachs, Albumin, Harze usw.; anorganische Stoffe: Natron, Kali und Kalk mit organischen Säuren und Kohlensäure, Phosphorsäure, Kieselsäure gebunden.

Das Austrocknen des Holzes führt zu einem physikalischen Vorgang, den man als das Schwinden bezeichnet; er beruht auf der Größenverminderung, die durch das Ausscheiden des Wassers herbeigeführt wird. Mit dem Schwinden pflegt eine Formänderung verbunden zu sein (Werfen, Verziehen), weil nicht alle Teile in gleichem Maße dem Schwinden unterworfen sind. Auch die Bildung von Rissen und Sprüngen beruht auf dem ungleichen Austrocknen. Da in den Wandungen der Holzzellen ebenfalls Wasser vorhanden ist, das beim Schwinden zum großen Teile verschwindet, wobei zugleich die ganze Zelle durch die Verminderung des Wassergehaltes in ihrem Inneren dünner wird — die Länge bleibt nahezu dieselbe —, ist das Schwinden senkrecht zur Richtung der Zellenlagerung viel größer als in der Längsrichtung der Zelle selbst. Infolgedessen schwindet das Holz immer am stärksten in der Richtung der Jahresringe, am wenigsten in Richtung der Achse, im Mittel in radialer Richtung. Annährend verhalten sich die Beträge in diesen drei Schwindungsrichtungen:

Achse : Radius : Jahresringen = 1 : 50 : 100.

Das Schwinden in der Längsrichtung ist hiernach nicht von Bedeutung, in radialer Richtung und nach den Jahresringen muß es aber wesentliche Änderungen hervorbringen. Man kann das am besten beobachten, wenn ein Stammstück parallel zur Achse in einzelne Teile zersägt wird: die einzelnen Abschnitte gehen am stärksten in der Richtung der Jahresringe ein und trennen sich in den Schnittfugen voneinander.

Die Hölzer können einer natürlichen oder künstlichen Trocknung unterworfen werden. Die natürliche Lufttrocknung dauert bei Harthölzern wie Eiche etwa vier, höchstens fünf Jahre, alle anderen Verfahren trocknen in kürzerer Dauer. Rasches Trocknen ist immer nachteilig. Absolut trockenes Holz läßt sich nie erzielen. Besonders ungünstig wirkt die ungleiche Trocknung, sie erzeugt Risse, weil die weniger trocknenden Teile dem Schwinden der mehr ausgetrockneten nicht nachgeben und letztere den Zusammenhang verlieren oder reißen. Man sieht das an im Freien lagernden Stämmen, die im Hirnschnitt reißen, weil dieser seine Feuchtigkeit an die Luft mehr abgibt als die inneren Partien. So entstehen Strahlenrisse, die bei Rundholz vom Splint gegen den Kern gehen, oder Kernrisse, die bei gespaltenem Holz vom Kern gegen den Splint vordringen. Im allgemeinen schwindet Splintholz, das mehr Wasser enthält, mehr als Kernholz. Je regelmäßiger der anatomische Bau des Holzes ist, desto leichter trocknet es aus, so daß Nadelhölzer viel besser zu trocknen sind als Laubhölzer mit ihrer komplizierten Struktur.

Die Lufttrocknung erfordert, daß die zuerst trocknenden, mit der Außenluft in direkter Verbindung stehenden Teile so langsam trocknen, daß die Feuchtigkeit von innen nachdringen kann. Sonst trocknet die Außenseite zu rasch, und es entstehen Risse. Da namentlich an der Hirnseite zu rasche Feuchtigkeitsabgabe stattfindet, pflegt man diese in manchen Fällen, zum Beispiel beim Lufttrocknen von Weißbuchenholz für die Zähne von großen Rädern, mit Papier zu überkleben. Schneller wirkt die künstliche Trocknung in höheren Temperaturen, da hier der Feuchtigkeitsgehalt der umgebenden Luft keine Rückwirkung ausüben kann und der Wasserentzug infolge der hohen Aufnahmefähigkeit der trockenen Umgebung ein sehr rascher ist. Die Trocknung erfolgt in Darröfen oder Trockenkammern bei einer Temperatur von 70—80 Grad C. Nadelhölzer trocknen dabei in 4—5 Tagen, wenn sie in einer Dicke von 2—3 cm sofort nach dem Zerteilen eingesetzt werden, harte Laubhölzer wie Eiche muß man zuerst behufs Verhütung von Rissen 1/4—1/2 Jahr lufttrocken machen und in etwa 20 mm Dicke für 8 Tage einsetzen.

Beim Trocknen werden natürlich nur die flüchtigen, verdunstenden Teile des Saftes entfernt, alle anderen Bestandteile bleiben zurück und ziehen, sobald das Holz in einen Raum mit höherem Feuchtigkeitsgehalt gelangt, infolge ihrer Hygroskopizität wieder Wasser an. Die Folge ist, daß umgekehrte Erscheinungen eintreten wie bei dem Schwinden. Man nennt das das Quellen des Holzes. Durch Quellen können die Formänderungen, die das Schwinden verursacht hat, wieder behoben werden, so daß zum Beispiel Abschnitte eines Stammes, die sich geworfen haben, durch Benetzen wieder geradegemacht werden können. Die Erscheinungen des Schwindens und Quellens bilden zusammen das „Arbeiten“ des Holzes, das um so stärker ist, je weniger trocken oder je „grüner“ ein Holz verwendet wird. Bei solchem Material treten dann zuerst stärkere Schwindungen auf, die durch den schwankenden Wassergehalt der Luft wieder teilweise (aber ungleich) behoben werden, so daß Verwerfungen und erhebliche Formänderungen die Folge sind.

Mechanisches Auspressen der Säfte ist schwierig und hat sich nicht bewährt. Dagegen kann durch ein Auslaugen die Neigung zur Feuchtigkeitsaufnahme erheblich vermindert werden. Durch längeres Kochen in Wasser (Auslaugen in Heißwasser) kann der Saft entfernt werden, doch ist dies Mittel ziemlich langwierig. Viel besser wirkt der Wasserdampf, der sehr rasch eindringt und eine ziemlich vollständige Auslaugung der hygroskopischen Säfte herbeiführt. Die Dämpfung erfolgt in besonderen Dämpfkufen aus Holz oder Eisen, wobei man den Dampf nach und nach zu-

strömen läßt, so daß erst nach etwa zehn Stunden eine höhere Temperatur von nahezu 100 Grad C erreicht wird, in der das Material dann bis zu siebzig Stunden verbleibt. Auch in kaltem Wasser findet ein Auslaugen statt, durch welches die Widerstandsfähigkeit des Holzes sehr erhöht wird. Hierauf beruht es, daß man jahrtausendelang im Wasser liegendes Holz fast vollständig intakt wieder aufgefunden hat.

Wertvolle Eigenschaften des Holzes sind seine Härte, Spaltbarkeit und Resonanzfähigkeit. Im allgemeinen ist leichtes Holz weicher als schweres, und der Stammfuß pflegt auch stets größere Härte zu haben als die oberen Teile des Stammes. Nach Prof. H. Wilda (Das Holz; Leipzig 1909) kann ein Vergleich für die Härte der Hölzer aus der Eindrückbarkeit gewonnen werden. Danach gilt das Holz als weich, wenn bei Aufwand von weniger als 100 kg-qcm der Eindruck 1,15 mm beträgt; entsteht dieselbe Formänderung bei 110—160 kg-qcm, so ist das Holz mittelhart, für 160 bis 220 kg-qcm hart. Weich sind die Nadelhölzer, die Kastanie und Pappel; hart die Eiche, Ulme, Buche. Die Spaltbarkeit des Holzes ist sehr verschieden, sie ist bei feuchtem Holz größer als bei trockenem und ist naturgemäß in Richtung der Fasern am größten. Die Resonanz der Hölzer ist die Eigenschaft, durch den Einfluß von Tonschwingungen in Vibration zu geraten. Sie hängt von der Homogenität der Struktur ab, weshalb die Laubhölzer, die in dieser Hinsicht ungünstiger geartet sind, sich für die Resonanzteile im Instrumentenbau wenig eignen, während Nadelhölzer, besonders Tannenholz, hierfür sehr gut sind. Nur lufttrockenes Holz ist für diesen Zweck verwendbar. Es scheint auch, das die Vibrationsfähigkeit von der Dauer der Benutzung abhängt, so daß die Holsfasern nach und nach in die für die Schwingung günstigste Lage geraten.

Eine wichtige Aufgabe der holzverwertenden Industrien ist es, die Widerstandsfähigkeit der verschiedenen Hölzer zu erhöhen (Konservieren der Hölzer). Im allgemeinen verträgt Holz am schlechtesten den Wechsel zwischen Trockenheit und Feuchtigkeit. Es wurde oben schon erwähnt, daß durch Lagern im Wasser ein kaltes Auslaugen herbeigeführt wird, das durch Kochen in heißem Wasser und durch Dämpfen noch gründlicher durchgeführt werden kann. Man nimmt an, daß das Dämpfen ein Koagulieren der Eiweißstoffe zur Folge hat. Diese Prozesse wirken jedoch nur bis zu einer bestimmten Tiefe und können deshalb nur in Verbindung mit einem antiseptischen Mittel, das das spätere Eindringen von zerstörenden Keimen hindert, günstigen Erfolg haben. Die Dauerhaftigkeit wird ebenso durch die schon besprochene Behandlung des Lufttrocknens und Dörrens erheblich gesteigert, das sind Operationen, die man allen anderen voranzuschicken pflegt, um mit möglichst geringen Saftmengen — der Saft ist immer der Träger und Förderer der schädlichen Keime — rechnen zu müssen. Die Amerikaner verwenden heute für ihre Dauerhölzer ein Verfahren, bei welchem das Holz auf 110 Grad erhitzt und einem Druck von 10—12 Atm. ausgesetzt wird, wodurch die absolute Festigkeit um etwa 20% zunehmen und auch Rißbildung vermieden werden soll. Bekannt ist das Ankohlen der Pfahlspitzen und das Anstreichen der Hölzer behufs ihrer Konservierung (Ölfarben, Karbolineum, Teer, Pech, Wasserglas). Diese Anstriche bedecken aber nur die Oberfläche und müssen zeitweise erneuert werden. Durch das Imprägnieren soll dagegen ein die Poren durchdringender Schutz geschaffen werden, weshalb man ein Dämpfen vorauszuschicken pflegt, um die Poren zu erweitern. Das bekannteste und eins der besten Imprägnierungsmittel ist Kreosot, durch das das Holz wesentlich an Dauerhaftigkeit und Festigkeit gewinnt, allerdings aber auch feuergefährlicher wird. Das Kyanisieren mit Queck-

silberchlorid ist weniger günstig in seiner Wirkung, die eine mehr oberflächliche ist. Burnett verwendete erstmals Zinkchlorid, während Bouchérie Kupfersulfat (Kupfervitriol) zur Anwendung brachte. Das Hasselmannsche Verfahren schreibt eine Behandlung mit Eisenvitriol und Chlorkalzium vor. Jede dieser Methoden verlangt besondere Einrichtungen (vgl. Wilda, Das Holz; Leipzig 1909). Nach Blythe wird das Holz 6—20 Stunden Teeröldämpfen ausgesetzt, wobei ebenfalls eine dem Kreosotieren ähnliche Wirkung erzielt wird. Das von den Elberfelder Farbwerken angewendete Dinitro-o-Kresol (Antinonnin) soll günstigen Folgeeinfluß haben, färbt aber — wie übrigens manche andere Mittel auch — das Holz gelb.

In allen Fällen ist bei eingebautem Holz auf freien Luftzutritt zu achten. Das ist auch das beste Mittel, um dem mit Recht gefürchteten Hausschwamm vorzubeugen. Es sind dies verschiedene Pilze und Schwämme, die sich auf der Oberfläche und im Inneren des Holzes einnisten und dessen vollständige Zerstörung herbeiführen. Einmal vom Schwamm befallenes Holz ist kaum mehr zu retten. Vorbeugende desinfizierende Anstrich- und Imprägnierungsmittel, wie sie schon erwähnt wurden, können gute Dienste leisten, freier Lufteintritt und -austritt ist aber immer eins der besten Gegenmittel gegen Schwamm- und Pilzwucherungen im Holz.

Als Schutzmittel gegen Feuer haben sich bei Holz die Imprägnierungen besser bewährt als die Anstriche. Wasserglas soll in etwa 12% Lösung gut wirken, auch werden hierfür Alaun, Borax, Ammoniumphosphat und andere Chemikalien angegeben. In Fabriken werden in neuerer Zeit statt der schweren Wellblechtüren Holztüren mit vollständiger Blecheinkleidung angewendet, so daß im Brandfalle infolge des gänzlichen Luftabschlusses höchstens ein Ankohlen des Holzes stattfinden kann. Diese Verkleidungsart hat sich bis jetzt bewährt und wird auch seitens der Versicherungsgesellschaften anerkannt. Die Einkleidung der hölzernen Decken und Säulen mit einem unverbrennlichen und hitzebeständigen Material (Feuertrotz) hat gleichfalls günstige Ergebnisse gezeitigt.

Die Festigkeitseigenschaften des Holzes sind naturgemäß von besonderer Wichtigkeit für die technische Verwendung. Die Elastizität hängt von der Beanspruchungsrichtung ab (in der Faserrichtung oder senkrecht zu derselben usw.). Die Schwere des Holzes ist nicht immer ein Maßstab für die Elastizität in dem Sinne, daß das schwerere Material das weniger elastische sei, obzwar das in der Mehrzahl der Fälle zutrifft. Nichttrockene Hölzer pflegen weniger elastisch zu sein als trockene. Für sehr trockene Hölzer fällt die Elastizitätsgrenze nahe an die Bruchgrenze. Bei derselben Holzgattung und demselben Stamm können in der Elastizität und absoluten Festigkeit Schwankungen auftreten — zum Beispiel zwischen Stammende unten und oben —, die bei homogenen Materialien wie Metallen nie vorkommen. Für die Zugfestigkeit (absolute Festigkeit) sind Knoten- und Astbildungen im Holz sehr nachteilig. Auf Zug allein sollte Holz nur in der Faserrichtung beansprucht werden, nur für geringe Belastungen können Ausnahmen zulässig erscheinen. Verworfenes Holz eignet sich gleichfalls schlecht für Zugbeanspruchungen. Weitaus die meisten Bauhölzer werden auf Biegung beansprucht, wobei Zug- und Druckwirkung unter und über der neutralen Zone auf die Fasern einwirken; hier ist nur die Inanspruchnahme in der Faserrichtung als zulässig anzusehen. Die Markstrahlen beeinflussen die Festigkeit ungünstig. Auf Druck und Knickung beanspruchtes Holz — für Säulen, Tragpfosten usw. — findet häufige Anwendung und kann unter Zugrundelegung der bekannten Festigkeitskoeffizienten auf seine Abmessungen ebenso berechnet werden wie ähnliche Tragkörper aus Eisen. Auf Schub werden Holzteile im Bauwesen oft

beansprucht, und gerade hierfür ist Trockenheit besonders wichtig, da feuchtes und grünes Holz 1/3 weniger gegen Abscheren aushält als trockenes. Weiche Nadelhölzer besitzen wesentlich geringere Schubfestigkeit als harte Laubhölzer, weil bei letzteren die kompliziertere Struktur das Abscheren erschwert. Auf Torsion wird Holz im allgemeinen wenig mehr beansprucht, da der Maschinenbau Holzwellen kaum mehr anwendet; nur Holzscheiben haben sich neuerdings für die Übertragung geringerer Kräfte eingebürgert.

In kg/cm2	Zugfestigkeit	Druckfestigkeit	Biegungsfestigkeit	Scherfestigkeit, senkrecht zur Faser
Tanne	100–1050	300–350	435	270
Fichte	740–860	300–450	430	255
Kiefer	140–1280	300–330	330	212
Lärche	550–590	540–580	840	245
Rotbuche . . .	110–1500	380	700	396
Eiche	200–1450	370	620	345
Esche	500–700	—	700	—

Die Dauer verschiedener Holzgattungen ist nach dem Taschenbuch „Hütte" bei wechselndem Einfluß von Trockenheit und Feuchtigkeit anzuschlagen mit 50 Jahren bei Eiche, 20 Jahren bei Kiefer, während für vollständigen Schutz gegen Feuchtigkeit bis 800 und 200 Jahre angenommen werden können. Im Wasser gilt Eiche als unbegrenzt dauerhaft.

Die Verwendung des Holzes ist eine sehr vielseitige und erstreckt sich auf die Ausnutzung 1. als Brennmaterial; 2. Holzkohle; 3. Baumaterial; 4. zur Möbelfabrikation; 5. für verschiedene gewerbliche Zwecke (Wagnerei, Küferei, Holzpflasterung, Zündhölzer, Holznägel und -stifte usw.); 6. zur Gewinnung von mechanischem Holzstoff oder Holzschliff und 7. chemischem Holzstoff oder Zellulose mit ihren Nebenprodukten.

Das Holz ist als Brennmaterial heute wohl so ziemlich auf die Haushaltungen beschränkt, in gewerblichen Betrieben ist es nur dort von Wichtigkeit, wenn es sich durch fossile Kohle nicht ersetzen läßt (zum Beispiel vereinzelt in der Bäckerei usw.). Bekanntlich entsteht die Holzfaser unter Ausscheidung des Sauerstoffes (O) aus dem Kohlensäuregehalt (CO_2) und Wassergehalt (H_2O) der Luft durch Umbildung in $C_6H_{10}O_5$, Zellulose, wobei der Prozeß die Wirkung der Sonnenwärme voraussetzt. Die Verbrennung ist der entgegengesetzte Vorgang, es entstehen aus $C_6H_{10}O_5$ unter Sauerstoffzufuhr und Freigabe der gebundenen Wärmemengen wieder Kohlensäure und Wasser. Da das Holz im frisch gefällten Zustande (grünes Holz) große Wassermengen (bis 50%) enthält, würde eine große Wärmemenge für die Verdampfung derselben verbraucht werden, wenn man es nicht vorher einige Zeit ablagern ließe. Im Mittel liegt der Heizwert normaltrockenen Holzes bei 3000 W. E. (für etwa 20% Wassergehalt). Absolut trockenes Holz gibt etwa 4000 W. E.: 100 kg lufttrockenes Holz ergeben also 300000 W. E., dieselbe Quantität absolut trocken liefern im besten Falle 400000 W. E.; da aber absolute Trockenheit sehr schwer erzielbar ist und das Holz sofort aus der Luft wieder Feuchtigkeit anzieht, ist nur mit etwa höchstens 360000 bis 370000 W. E. zu rechnen. Die Nadelhölzer und weichen Hölzer (Tanne, Fichte, Lärche, Weide, Ulme) haben höhere Heizwerte und brennen mit größerer Flamme als eigentliche Harthölzer (Buche, Eiche), doch geben letztere stärkere und anhaltendere Glut.

Die Holzkohle hat, da sie einen sehr hohen Kohlenstoffgehalt besitzt, bedeutenden Heizwert (8000 W. E.). Sie entsteht bei Erhitzung des Holzes in Kohlenmeilern unter völligem oder besser fast völligem Abschluß der Luft, wobei Wasserstoff und Sauerstoff verflüchtigt werden und der Kohlenstoff bis auf geringe Verluste in Form einer rotbraunen (Rotkohle) bis tiefschwarzen (Schwarzkohle) porösen Masse zurückbleibt. Das Verkohlen in Meilern dauert etwa 3—5 Wochen und gibt keine so gute Ausnutzung wie die Anwendung von Verkohlungsöfen. Die beste Ausnutzung gibt die Retortenverkohlung, die einer trockenen Destillation gleichkommt. Bis zur Temperatur von 150 Grad C findet nur eine Entfernung des Wassergehaltes statt, bei 280 bis 350 Grad bildet sich Rotkohle, bei noch höherer Erwärmung Schwarzkohle (etwa 400 Grad). Die Ausbeute ist verschieden und beträgt bei Fichten etwa 40, bei Eichen 45, bei Linden 30%. An der Luft nimmt die Holzkohle 5—7% Wasser auf. Der Aschengehalt beträgt 2—3%. Die Holzkohle wurde früher sehr viel im Hüttenbetriebe verwendet, ist aber heute durch den weitaus billigeren Koks stark verdrängt. Sie findet aber immer noch in der Metallurgie als sehr wirksames Reduktionsmittel — um Metalloxyden den Sauerstoff zu entziehen — Anwendung. Das große Absorptionsvermögen der porösen Holzkohle für gewisse chemische Stoffe macht sie unentbehrlich in einigen chemischen Industrien. Reine Holzkohle gibt hohe Temperaturen und fast rauchlose und rückstandlose Verbrennung, wie überhaupt die besten Holzkohlen die reinsten, mit höchstem Kohlenstoffgehalt ausgestatteten Brennstoffe sind.

Holz als Baumaterial. Die Verwendung des Holzes als Baumaterial ist eine außerordentlich vielseitige, sowohl für den Bau selbst wie für dessen inneren Ausbau. Die Einführung der Eisenkonstruktionen hat allerdings in mancher Hinsicht — namentlich im Bau von Decken — das Holz zurückgedrängt, aber trotzdem ist der Gebrauch des Holzes ein sehr vielseitiger geblieben. Von Wichtigkeit ist dabei immer, daß die in den Bau eingefügten Holzteile nie so eingespannt werden, daß das Schwinden, Werfen und Arbeiten, das auch bei lufttrockenem Holze unvermeidlich ist, behindert wird und infolge der Unbeweglichkeit in Richtung der Formänderung zu Verschiebungen führt, die für die konstruktive Aufgabe des verwendeten hölzernen Konstruktionsteiles gefährlich werden können. Grünes und nasses Holz soll von der Verwendung im Bauwesen ausgeschlossen sein. Die Nadelhölzer sind für alles Gebälk, das langen, geraden und möglichst astfreien Wuchs erfordert, vorzüglich geeignet, wobei Fichte im allgemeinen vorgezogen wird. Die Föhre (Kiefer) liefert weniger lange, gerade Stücke, ist aber gleichfalls ein vorzügliches Holz für gedeckte Verwendung, durch die weniger Nässe an das Holz gelangt. Sehr viel wird für Innenzwecke (Böden, Verkleidungen) die Lärche und in neuerer Zeit die amerikanische Kiefer (pitch pine) verwendet.

Man unterscheidet Waldholz, das nicht durch Flößen transportiert wird, und Flößholz, das durch Flößen an den Ort seiner Bestimmung gelangt. Das Flößen hat für das Holz den Vorteil, daß die längere Lagerung im Wasser zu einem Auslaugen führt, durch welches späteres Schwinden wesentlich weniger zu befürchten ist. Unbearbeitetes Holz heißt Rundholz, zugerichtetes Schnittholz, die Abfälle Schwarten. Zum Waldholz gehört auch Reisig (Reiserholz), Prügelholz (Derbholz), beide mit kleinem Durchmesser (bis 14 cm), sodann Stammholz (über 14 cm). Spaltholz darf nicht drehwüchsig sein, d. h. die Holzfasern dürfen nicht aus der Wuchsrichtung geworfen sein und schief oder gewunden verlaufen.

Die wichtigsten Bauhölzer sind in der Festigkeitstabelle auf S. 342 zusammengestellt, die Aufstellung wäre nur noch durch die einheimische Ulme zu ergänzen.

Für Bauzwecke bestimmtes Holz muß fehlerlos sein. Vertikalspalten des Stammes, durch Frost entstandene Eisklüfte, Insektenfraß (durch die Arbeit des Spechtes an der Rinde und an Harzausschwitzungen erkennbar), windschiefer Wuchs und Drehwuchs machen das Material für Bauzwecke unbrauchbar. Hölzer, die astreich sind, müssen so verwendet werden, daß die Aststellen nur auf Druck beansprucht werden.

Die Anwendung des Holzes für gewerbliche Zwecke ist eine sehr vielseitige und steht meist in Verbindung mit einer Veredelung der Oberfläche (namentlich in der Möbelfabrikation und bei der Verwendung für den inneren Ausbau). Die gewöhnlichste dieser Arbeiten ist der Anstrich mit einer die Strukturzeichnung zudeckenden Deckfarbe (2—3 maliger Ölfarbenanstrich), oft wird aber auch — wenn die Zeichnung des Holzes hervortreten und sichtbar bleiben soll — ein nur konservierender Anstrich mit Leinöl oder Firnis gegeben. Das Beizen des Holzes hat die Aufgabe, die Zeichnung herauszuheben und die Oberfläche dunkler zu machen. Als Beizen werden säurehaltige Körper, Teerfarbstoffe (bei Laubhölzern), übermangansaures und doppeltchromsaures Kali usw. verwendet. Eine der schönsten Effekte läßt sich durch die Politur der Oberfläche hervorbringen. Nachdem das Holz geschliffen und damit eine Schließung der Poren bewirkt wurde, wird eine Schellacklösung (in Alkohol) aufgebracht und durch Reibung mittelst des Polierkissens glänzend gemacht. Es wird zuerst eine Grundierung aufpoliert und dann erst die feinere Auspolierung vorgenommen. Poliert man nur wenig vor und schleift die Fläche mit Bimsstein und Öl wieder an, so entsteht eine Mattpolitur (Mattieren des Holzes).

Die Wagnerei (Stellmacherei) verwertet vornehmlich Laubhölzer (Buche, Ulme, Esche für Räder und Felgen; Linde, Pappel für andere, weniger Festigkeit beanspruchende Teile). Die Biegungsfähigkeit des Holzes bildet in der Wagnerei eine wichtige Eigenschaft. Ein weites Verwendungsgebiet ist dem Holze durch die Eigenschaft entstanden, daß es jede Biegung und Formung beibehält, wenn es in gebogener Lage austrocknet. Das Verfahren besteht in der Hauptsache im Geschmeidigmachen durch Dämpfen und darauffolgendes Imprägnieren (mit kalter Lösung von Ätznatron oder schwefligsauren Salzen), wobei die erweichenden Fasern quellen (wie zum Beispiel auch die Baumwollzellulose durch alkalische Einwirkungen quillt) und das Gefüge die Formbarkeit annimmt. Für die Formung benutzt man eigene Apparate, die aus der Form, in welche das Holz gebogen werden soll, und der Spannvorrichtung bestehen. Die Formbarkeit hängt eng mit der Struktur des Holzes zusammen, und naturgemäß biegt sich weiches Holz, wie das der Linden und Pappeln, leichter als hartes. Die weitgehendste Anwendung hat die Holzbiegerei für die sogenannten „gebogenen Möbel" gefunden, für die neben anderen Rohmaterialien namentlich Buchenholz (Rotbuche) Verwendung findet. Bekannt ist die Veredelung eines aus weniger wertvollem Material hergestellten Holzgegenstandes, vornehmlich der Möbel, durch Bedecken der sichtbaren Oberflächen mit einer edleren Holzgattung. Man bezeichnet das Verfahren als „Furnieren". Vorteilhaft ist dabei auch der hemmende Einfluß, den die Furnierung dem Verwerfen des Grund- oder Blindholzes entgegensetzt. Die Furnierveredelung darf jedoch nicht verwechselt werden mit der gleichfalls sehr wertvollen Intarsienarbeit, bei welcher nach verschiedenen Verfahren Deckplatten aus verschiedenen Holzgattungen in ornamentaler oder irgendwie künstlerischer Wirkung zusammengesetzt deckend auf die Unterlage gebracht werden und hier als Einlagearbeit (eingelegtes Holz) wirken. Setzt man nun in eine Furnierplatte, die entsprechend ausgespart wird, Muster ein, so entsteht ein als Holzmosaik bekanntes weniger wertvolles Imitat der eigentlichen Intarsienveredelung.

In neuerer Zeit wurden Koniferenhölzer und einige überseeische, besonders dichtgefügte Harthölzer vielfach für sogenanntes Holzstöckelpflaster verwendet, das gewöhnlich aus prismatisch zugerichteten, sorgsam astfrei ausgewählten Stücken besteht, die etwas höher als breit sind, und mit irgendeinem Schutzmittel, deren oben mehrere Erwähnung fanden, imprägniert wird. Namentlich die Einflüsse des Wassers müssen hintangehalten werden. Diese Holzstöckel werden hirnseitig in Teer gebettet und sorgsam verfugt, die Einflüsse der Reibung von Wagenrädern usw. senkrecht zur Faser würde die Stöckel in kurzer Zeit zermahlen. Der Vorzug der Holzpflasterung liegt in der Verminderung des Straßengeräusches, doch ist die Widerstandsfähigkeit gegen das ungleiche Eingehen ziemlich gering, da es eben doch trotz aller Sorgfalt nicht gelingt, absolut gleiche Dichtigkeit in allen Partien zu erlangen. Das Pflaster nimmt dann leicht sehr unebene Formen an. In neuerer Zeit ist man von seiner Anwendung wieder mehr abgekommen.

In Fabriken hat sich als Bodenbelag eine Art Holzpflaster ausgezeichnet bewährt, dessen Hauptbestandteil Sägemehl ist, welches in Mischung mit Chlormagnesium und Magnesit eine breiige Ansatzmasse ergibt, die sich in bestimmter Schichthöhe verstreichen läßt und später steinartig erhärtet (daher auch Steinholz). Diese als Euböolith, Terralith, Torgament usw. bezeichnete Masse ist, wenn sie richtig behandelt und aufgebracht würde, äußerst widerstandsfähig und besitzt die guten Eigenschaften schlechter Wärmeleitung und der Verwendungsfähigkeit als Ausgleichverstrich auf alten, holperigen Böden. Die Industrien haben das Material infolgedessen sehr gern angenommen, und auch für Privatbauten wird es heute oft verwendet. Sorgsam zu verhüten ist dabei die Aufbringung des frischen Materials auf eine feuchte Unterlage, weil dann der Sägemehlgehalt zu Quellungen und Blasenbildungen Anlaß gibt.

Andere gewerbliche und künstlerische Verwendungen des Holzes, wie die zur Möbelschreinerei, Stiftfabrikation, Korbflechterei, Zündholzfabrikation, Holzbildhauerei (hierfür hauptsächlich Linden, Apfelholz, Ebenholz), mögen hier nur kurz Erwähnung finden, da sie im allgemeinen gut bekannt sind. Bemerkenswert sind einige chemische Verwertungen des Holzes. So die zur Erzeugung des Holzessigs, die auf einer trockenen Destillation in Eisenretorten unter Luftabschluß beruht, wobei in hohen Temperaturen die flüchtigen Bestandteile verflüchtigt und nachträglich in Kühlvorrichtungen aufgefangen werden. Ebenso beruht die Holzteergewinnung auf einer Art Destillation. Aus Nadelhölzern gewinnt man außerdem Harz, Terpentin und Kolophonium. Andere aus Holz gewonnenen Produkte sind die in der Lederfabrikation verwendeten Gerbsäuren, die namentlich in den Rinden enthalten sind und aus diesen als Extrakte ausgezogen oder durch unmittelbare Verwendung der Rinden verwertet werden.

Eins der größten technischen Verwendungsgebiete für das Holz ist mit der Erkenntnis erschlossen worden, daß sich die Fasern, die im Holz in ausgezeichneter Form vorhanden sind, auf mechanischem oder auch chemischem Wege abscheiden lassen. Man unterscheidet hiernach Holzschliff und Holzzellulose oder Holzzellstoff.

2. DER HOLZSCHLIFF

Der Holzschliff (Holzstoff, Holzzeug) ist ein in der Papierfabrikation als Surrogatmaterial an Stelle der Hadern (Lumpen, Strazzen) für die Bereitung minderer und vergänglicherer Papiersorten verwendeter Rohstoff, der auf rein mechanischem Wege durch Abfaserung der Zellen gewisser nicht zu kurzzelliger Holzarten, vornehmlich der Fichte, Tanne und Espe, gewonnen wird. Das Holz wird ent-

schält und mit Kreissägen in kleinere Klötze zerschnitten, wobei für ganze Stämme die schwingende Kreissäge, für kleinere schon vorbereitete Teile die Tischkreissäge benutzt wird. Da die Astansätze — Astknorren — den Stoff verunreinigen, anderseits aber auch die Schleifsteine angreifen und stumpf machen, ist es notwendig, die Äste auszubohren, was gewöhnlich auf einfachen Bohrmaschinen mit Spiralbohrern geschieht. Doch werden auch Astfräsmaschinen und Stanzmaschinen hierzu benutzt. Der durch mechanische Schälung weiter vorgerichtete und von der Rinde befreite Block gelangt dann auf eine Spaltmaschine, um hinreichend schmale Stücke zu erlangen, und schließlich werden noch die Hirnseiten, welche durch den Sägeschnitt rauh und mit Sägespähnen bedeckt sind, mittelst einer Stirnhobelmaschine gereinigt und abgerichtet.

Die so vorbereiteten Holzstücke kommen dann auf den Zerfaserer oder Kraftschleifer (Défibreur). Diese Maschine besteht in der Hauptsache aus einem vertikal oder horizontal angeordneten Schleifstein (Sandstein), der in einen Kasten eingeschlossen ist und an dessen Umfang die in radial angeordneten Zellen eingebrachten Holzstücke durch mechanisch oder hydraulisch gepreßte Kolben angedrückt werden. Ein kleinerer sogenannter Völterscher Schleifer mit vertikalem Stein und horizontaler Achse hat 1350 mm Steindurchmesser und eine Breite von 500 mm bei 160—200 minutlichen Umdrehungen. Der Stein rotiert in einem Wassertroge, und hinter jeder Schleifstelle trifft ein aus einem höhergelegenen Reservoir oder sonst unter Druck zugeleiteter Wasserstrahl auf den Schleifstein und bespült ihn. Das Holz wird mit gleichmäßigem Druck gegen den Stein gepreßt, wobei es in radial liegenden Behältern geführt ist. Der Druck wird durch Kolben erzeugt, auf welche entweder eine durch mechanische Mittel entwickelte Pressung einwirkt, oder man benutzt hydraulische Pressung. Im ersten Falle sind die verlängerten Kolbenstangen zu Zahnstangen ausgebildet, auf welche Stirnräder derart einwirken, daß ein radialer, nach einwärts gerichteter Druck entsteht. Die einfachste Lösung ist dabei die, bei welcher sämtliche Preßräder unter dem Einfluß einer belasteten Kette oder eines Zahnkranzes stehen, so daß der Druck für alle Preßkolben konstant bleibt und sich selbst in gleichmäßiger Stärke einregelt. In Abbildung 3 ist ein weit verbreiteter Schleifer von J. M. Voith für kleinere Kräfte mit Zahnstangendruckübertragung und Schleiferregulator im Schaubild dargestellt.

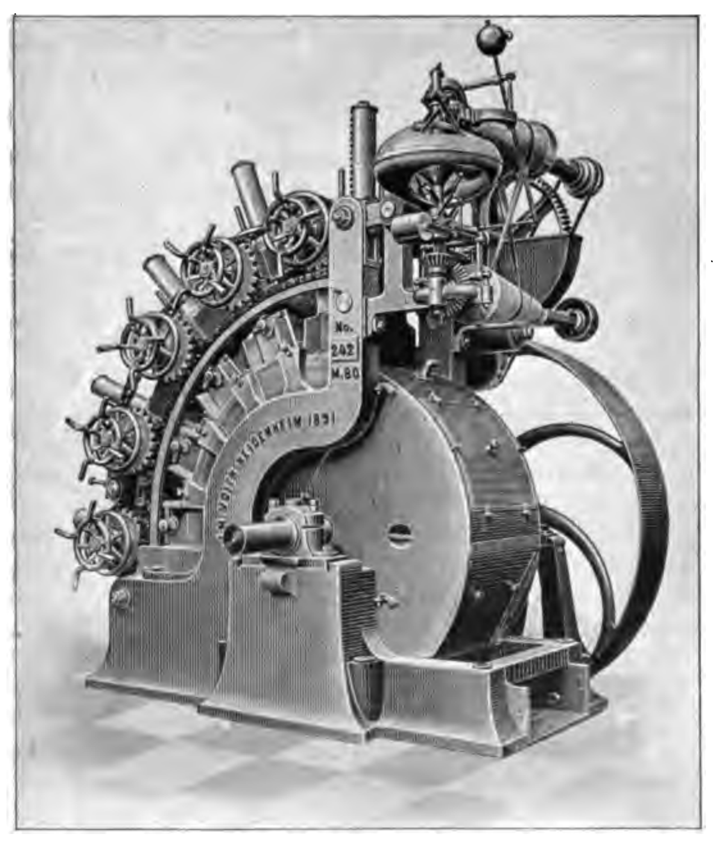


Abbildung 3. Kraftschleifer.

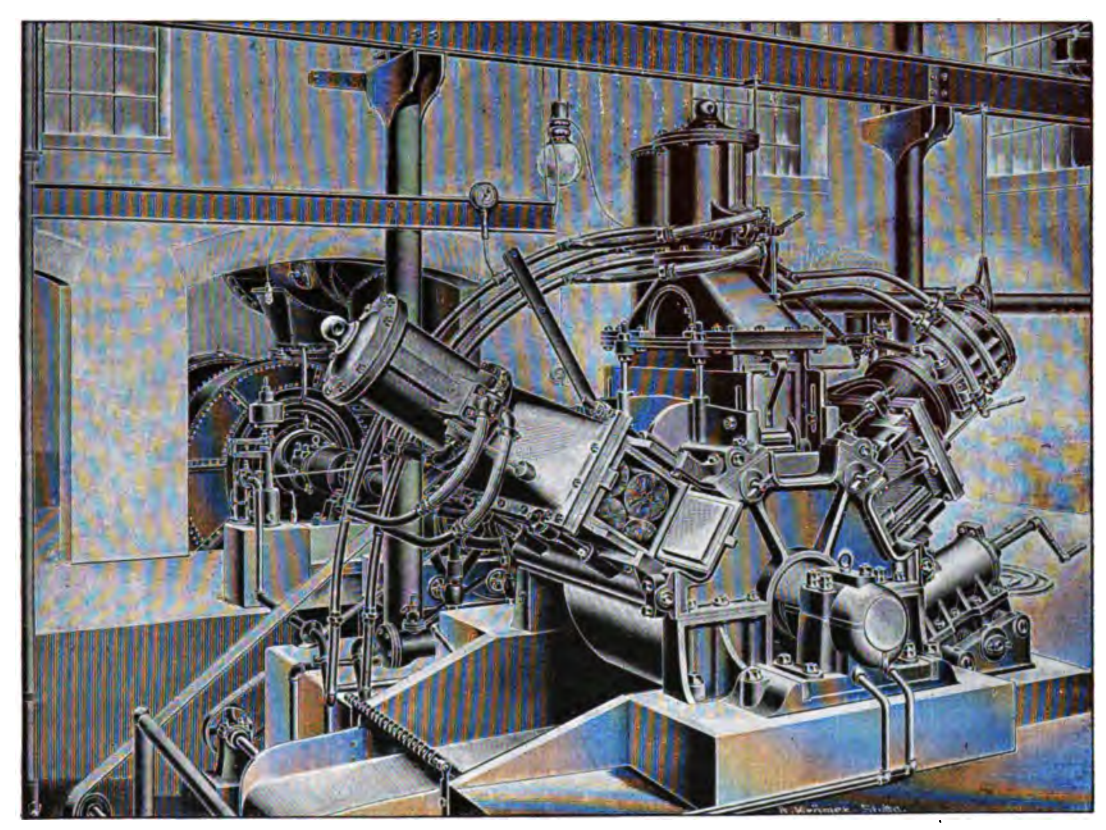


Abbildung 4. Großkraftschleifer von J. M. Voith.

Der Regulator ist eine Verbesserung, die den Zweck hat, den Vorschub bei Schwankungen in der Umdrehungszahl zu vergrößern oder zu verkleinern, er hält also die Umdrehungszahl durch Steigerung oder Herabsetzung des Kraftverbrauches in gleicher Höhe. Die Schleifer werden auch als Großkraftschleifer mit bedeutender Leistungsfähigkeit gebaut. So zeigt Abbildung 4 eine derartige Voithsche Maschine für 1 m Schleifklotzlänge; die Anpressung erfolgt durch Wasserdruck. Die einzelne Schleiferpresse kann bis zu 300 P. S. belastet werden, ohne daß beim Beschicken der Pressen erhebliche Schwankungen, die durch den Regulator verhindert werden, entstehen.

Die größten Schleifer nehmen 500—600 P. S. auf und erzeugen in 24 Stunden bis zu 10000 kg lufttrockenen Holzstoff. Die Steinfläche wird fortwährend bei allen Schleifern mit Wasser bespült, um sie frei und angriffsfähig zu erhalten. Außerdem spült das Wasser den Schliff ab und führt ihn durch einen besonderen Ablauf der weiteren Verwendung zu. Bei Zuführung größerer Wassermengen und Anwendung geringen Druckes entsteht naturgemäß auch größere Kühlung der Schleiffläche und geringere Reibungswärme, der Schliff fühlt sich kalt an und wird Kaltschliff genannt. Die Verringerung der Wassermengen und Steigerung des Druckes führt zur Erzeugung von Warm- oder Heißschliff. Nach einer Studie von Kirchner (Wochenblatt für Papierfabrikation, Festnummer Juni 1910) ist dem Kaltfeinschliff mehr Zusatz an Zellstoffen zu geben als dem Warmschliff, der aufgeschlossener, länger ist.

Nach seiner Ansicht hat man es vollständig in der Hand, auch auf dem Großkraftschleifer Feinschliff zu erzeugen. Sowohl beim Kalt- wie beim Warmschliff werden 40—60% der Arbeitsaufwendung in Wärme umgesezt, und es liegt nahe, wie Kirchner sagt, daß die höheren Temperaturen beim Warmschliff günstig auf den Arbeitsvorgang einwirken, weil eben das Holz in seiner Struktur und Zusammensetzung die Eigenschaft besitzt, sich durch Wärmewirkung besser zu lösen. Beim Kaltschliff wird dagegen die ganze Reibungswärme unbenutzt abgeführt. Viele Praktiker behaupten dagegen, daß der Warmschliff (Großkraftschliff) unbedingt wolliger, gröber und starrer sei.

Nach der Lage, die das Holz nach seiner Faserrichtung beim Schleifen einnimmt, unterscheidet man Lang- und Querschliff. Der Langschliff entsteht hiernach, wenn der Schleifstein in der Faserrichtung des Holzes arbeitet, anderenfalls erhält man Querschliff. Wird zu fein geschliffen, so entsteht „tote Mahlung", das Fabrikat ist so kurz, daß es für Papier nicht mehr brauchbar ist. Die Schleifsteine müssen zeitweise nachgeschärft werden, was von Hand oder mechanisch geschehen kann.

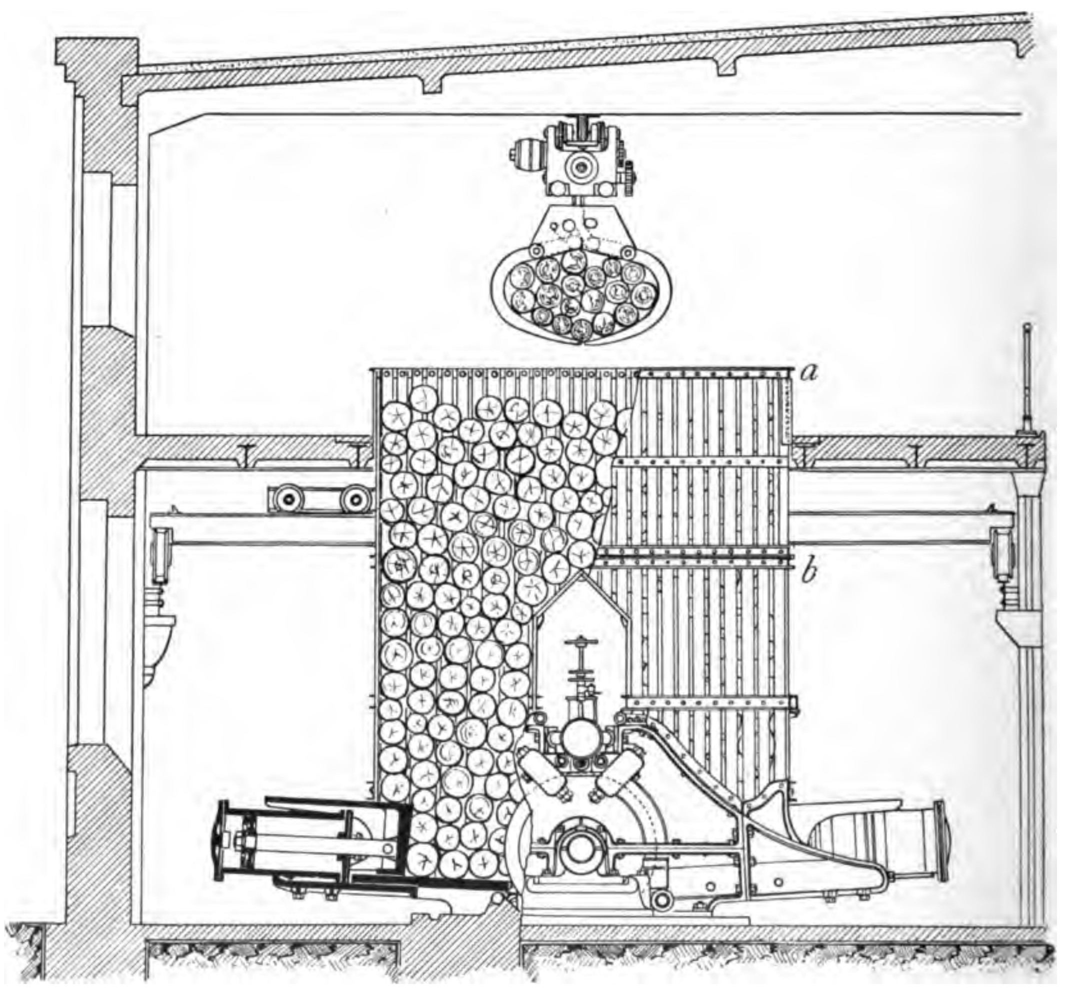


Abbildung 5. Magazinschleifer von J. M. Voith.

Nach Voith sind für 100 kg lufttrockenen Holzschliff in 24 Stunden 7—8 P. S. einschließlich aller Nebenmaschinen zu rechnen. Doch kann der Kraftbedarf zwischen 5,5 bis 10 P. S. schwanken. Es ist selbstverständlich, daß die Leistung in erster Linie von der Beschaffenheit des zu verarbeitenden Holzes und dann auch von der Schleifkapazität des Steines abhängt. Aus einem Festmeter Fichtenholz können im Durchschnitt 320—400 kg lufttrockener weißer Holzschliff hergestellt werden. Für 100 P. S. ausgenutzter Kraft brauchen die Voithschen Schleifer 500 Liter Fabrikationswasser.

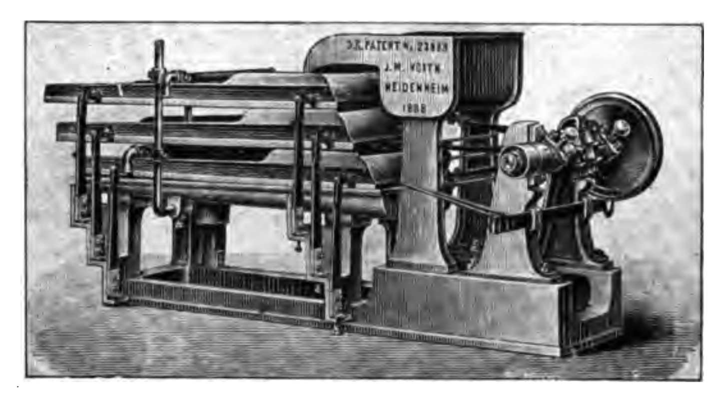


Abbildung 6. Schüttelsortiermaschine.

Eine Neuerung auf dem Gebiete der Holzschleiferei ist der sogenannte „Magazinschleifer". Wie Abbildung 5 (Schleifer von J. M. Voith) zeigt, handelt es sich um einen Großkraftschleifer mit selbsttätiger Holzzuführung. Die Maschine hat nur zwei Pressen, je eine links und rechts. Über den Pressen, die mit Wasserdruck arbeiten, befindet sich ein Magazin, das bei 1 m Schleifbreite des Steines etwa 8—10 Raummeter Rollerholz faßt. Ist die Presse leergeschliffen, so geht sie selbsttätig zurück, der Behälter füllt sich wieder, und durch automatische Steuerung wird der Vorwärtsgang wieder eingeleitet. Der Vorgang dauert nur einige Sekunden, eine Magazinbeschickung reicht bis zu 72 Stunden. In Abbildung 5 arbeitet die Maschine auf Langschliff.

Der Schleifprozeß liefert durchaus kein gleichartiges Material. Wie totgemahlene Teile entstehen können, ist auch die Bildung von groben Teilen sehr wohl möglich. Da aber nur gleichartiger Schliff von bestimmter Feinheit verwendbar ist, ist es notwendig, das Produkt zu sortieren. Es gibt Schüttelmaschinen und rotierende Sortiermaschinen. Eine dreisiebige Voithsche Schüttelmaschine zeigt Abbildung 6. Die unschwer erkennbaren übereinander in drei Etagen angeordneten Schüttelsiebe erhalten ihre Rüttelbewegung von Exzentern. Die Siebe sind an langen Holzfedern aufgehängt, die die Schüttelbewegungen federnd aufnehmen. Auch zweisiebige Breitschüttler werden ausgeführt, bei denen das oberste Sieb feinmaschig ist und das gröbere Material zurückhält, das allzufeine aber durchläßt, so daß es in eine Rinne ablaufen kann. Das andere Material gelangt dann auf einen zweiten Siebtisch, der das brauchbare Material durchläßt und den zu groben Schliff absortiert bzw. ablaufen läßt. Abbildung 7 zeigt den Voithschen Rotationssortierer. Hiernach befinden sich auf einer rotierenden Schlagwelle Flügel, auf welche von oben her der Schliff in mehreren Strahlen aufläuft und sofort nach außen gegen das ruhende Sortiersieb geschleudert wird. Durch die Ausschleuderung erfolgt eine vollkommene Auflösung, Verteilung und Sortierung des Materials. Das Grobzeug fließt innen, das sortierte Feinzeug außen in den ringförmigen Kanal ab. Die rotierende Maschine hat 300 bis 400 Flügeltouren und liefert in 24 Stunden 2000—8000 kg weißen und 1800—7000 kg braunen lufttrockenen Holzschliff, je nach Größe. Die Schüttelsortierer ergeben nur 400—1400 kg weißen und 300—1200 kg braunen Schliff.

Der absortierte grobe Stoff wird auf Raffineuren nachgemahlen. Dem Prinzip nach arbeitet die Maschine mit zwei Mahlsteinen, von welchen bei stehender Welle der sogenannte Unterstein in einem Gehäuse rotiert, während der festliegende Oberstein an dem Gehäuse festgelegt ist und in der Mitte eine weite Öffnung für das Einbringen des zu raffinierenden Gutes besitzt. Letzteres wird durch die Wirkung der Zentrifugalkraft von dem Unterstein sofort radial nach außen zwischen die eng gegeneinandergestellten Steine befördert und zwischen diesen gemahlen. Der Ablauf erfolgt an der äußeren Peripherie des Gehäuses nach unten. Man baut die Maschine auch mit vertikalen Steinen und horizontaler Welle. Nach dem Raffinieren ist eine Nachsortierung erforderlich. Der fertige Schleifstoff wird schließlich mit dem durch Raffination hinreichend verfeinerten gemischt und auf einer Entwässerungsmaschine so weit entwässert, daß er einige Konsistenz erreicht und transportfähig und lagerfähig wird. Die Entwässerungsmaschine ist gewöhnlich der Rundsiebmaschine der Papier- oder Pappenfabrikation nachgebildet, oder es wird, wie in Deutschland oft, eine Langsiebmaschine verwendet. Eine Schüttelvorrichtung ist hier jedoch unnötig, da der Stoff nicht verfilzt zu werden braucht.

Wird das Holz nach entsprechender Zurichtung — Zerkleinern, Entasten usw. — ohne weitere Vorbehandlung dem Schleifer übergeben, so entsteht weißer Holzschliff. Dieses Material enthält somit noch alle inkrustierenden Bestandteile des Holzes, wodurch es in seiner Güte sehr wesentlich herabgedrückt wird und namentlich große Sprödigkeit besitzt. Bringt man die Holzstücke vor dem Schleifen in Kocher und setzt sie einige Stunden der Wirkung eines Dampfdruckes von etwa 5 Atm. aus, so wird ein Teil der Inkrusten gelöst und bei nachfolgendem Spülen in heißem Wasser als braune Lösung abgeführt. Durch das Schleifen dieses gekochten Holzes entsteht der braune Holzschliff, der geschmeidiger, weniger spröde und brüchig ist und sich ohne Zusatz zu braunem Packpapier verarbeiten läßt, aber nicht oder nur schwer zu bleichen ist. Das Holzschliffverfahren ist von Keller in Mittweida 1840 erfunden, namentlich aber von Völter in Heidenheim weiter ausgebildet worden.

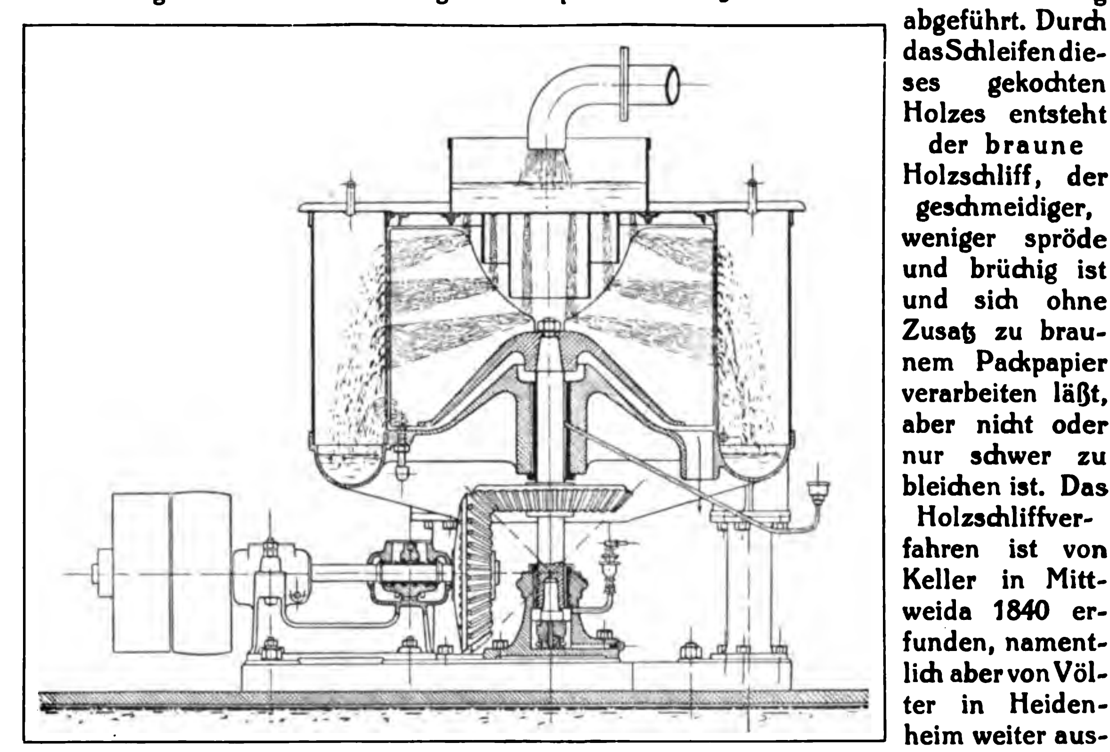


Abbildung 7. Rotationssortierer von J. M. Voith.

3. DER ZELLSTOFF

Der Zellstoff (Zellulose) wird gleichfalls aus den Fasern des Holzes gewonnen, jedoch nicht auf mechanischem, sondern auf chemischem Wege durch Kochen des zerkleinerten Holzes in alkalischer Flüssigkeit (Alkalizellulose) oder in einer Lösung der Salze der schwefligen Säure (Sulfite). Da man für die erste Methode zumeist Natronsulfat (Glaubersalz) verwendet, pflegt man in der Praxis die Erzeugnisse der beiden Verfahren kurzweg als Sulfat- und Sulfitzellstoff zu bezeichnen. Der Sulfatstoff (auch Natronzellulose, Natronstoff, Sodazellulose) besitzt eine mehr oder weniger braune Farbe, weil die alkalische Kochflüssigkeit die Harzteile des Holzes — zumeist Fichte und Tanne — auflöst. Diese Braunfärbung bildet einen großen Nachteil des Verfahrens, da die Zellulose nur durch eine sehr kräftige Bleiche für weiße Papiere verwendbar gemacht werden kann. Für braune Papiere und Pappen ist der Sulfatstoff natürlich unmittelbar zu benutzen, doch ist die Anwendungsmöglichkeit eben eine beschränkte. Die bei der Herstellung des Sulfitstoffes wirksame schweflige Säure ist ein Reduktionsmittel, das bleichend auf die Fasern einwirkt und ein ziemlich weißes Produkt ergibt, das ohne besondere Chlorbleiche — wenn es sich nicht um sehr weiße Papiere handelt — verwendet werden kann. Für sehr harzhaltige Hölzer (Kiefernholz) ist das Alkaliverfahren (Natronverfahren) vorzuziehen, während das Sulfitverfahren für Tannen- und Fichtenholz geeignet ist. Das Holz muß in ähnlicher Weise wie bei der Herstelluug des Holzschliffes entrindet (entschält), von Ästen befreit (Ausbohren) und in kleinere Blöcke zersägt werden. Es tritt hier jedoch noch eine Zerkleinerung in Späne hinzu, weil die Kochflüssigkeit naturgemäß um so rascher und gründlicher auf das Holz einwirkt, in je kleineren Teilen letzteres dargeboten wird. Man zersägt zum Beispiel — es können verschiedene Methoden angewendet werden — das Holz auf etwa 1 m lange Stücke, spaltet diese auf einer Spaltmaschine in mehrere Teile und bringt letztere auf eine mit rotierenden Messern arbeitende Hackmaschine, die Späne von etwa 2—3 cm herstellt. Knorren und Astanwüchse müssen unbedingt entfernt werden, da sie die Güte des Produktes sehr zu schädigen vermögen. Eine Nachsortierung — sei es von Hand oder mittelst Sichtertrommeln — ist deshalb notwendig. Das verbreitetere Sulfitverfahren stammt von dem Amerikaner Tilghmann, wurde aber erst von dem deutschen Chemiker Mitscherlich für industrielle Ausbeutung in richtiger Weise entwickelt. Da hierbei das wirksame Agens schweflige Säure ist, die die Metalle angreift, müssen die Kochapparate mit säurebeständigen Materialien ausgekleidet sein, zum Beispiel mit Bleiblech. Desgleichen ist die gesamte Armatur säurefest auszuführen. Das ursprüngliche Mitscherlich-Verfahren verwendet schwächere Kochflüssigkeiten (etwa 2—2½-prozentige schweflige Säure) und dehnt die Kochung auf 30—40 Stunden aus; das neuere Verfahren von Kellner-Ritter benutzt stärkere Kochflüssigkeiten (5—6-prozentig) und kocht in kürzerer Dauer (10—14 Stunden); für die Kochung verwendet man meist vertikale, mitunter auch horizontale Kessel, die für eine Kochspannung von etwa 5 bis 10 Atm. (zum Teil auch höher) eingerichtet sind. Durch die Einwirkung der Wärme und des Druckes öffnen sich die Poren des Holzes, wobei die Zerkleinerung des Materials zu Spänen, die senkrecht zur Faserrichtung geschnitten wurden, die Auflösung wesentlich fördern und beschleunigen. Das für die Zellstoffgewinnung bestimmte Rohmaterial muß abgelagert sein, da frisches Holz zuviel Wasser enthält und das Eindringen der Sulfitlauge hemmt. Für Schleifholz begegnet die Verwendung frischen Holzes keinen Schwierigkeiten.

Die Sulfitlauge wird zumeist derart erzeugt, daß die schweflige Säure in Schwefel-

öfen aus sizilianischem Rohschwefel durch Verbrennen in Gasform entwickelt und im Gegenstrom einer Kalkmilchlösung entgegenbewegt wird. Auch kann die Kalkmilch in Kufen angesetzt und die schweflige Säure hindurchgedrückt werden, was die Kontrolle der Laugenkonzentration erleichtert. Das erste Verfahren bezeichnet man als Turm-, das zweite als Büttensystem. Für 40—60 t Zellstoff täglich werden 2 Sätze mit je einem Schwefelofen, einem Kompressor zum Durchdrücken, einem Sublimator, einer Kühlvorrichtung und einer Büttenbatterie gebraucht. Die in rotierenden Schwefelöfen — die bessere Ausbeute als Schwefelpfannen ergeben und auch widerstandsfähiger sind — erzeugte SO_2 wird durch die Bütten gedrückt, die aus Holz hergestellt oder gemauert und mit Holz ausgekleidet sein können. Diese Bütten werden zweckmäßig mit Unterteilungen versehen, die das Gas zwingen, einen langen Weg zurückzulegen, wodurch die Absorption gefördert wird. Die Ableitung erfolgt zunächst in ein Laugenreservoir, von da wird mittelst säurefester Pumpe in den Kocher übergepumpt. Die stehende Kocherbauart ist für Großbetriebe mit Rücksicht auf die Vereinfachung des Betriebes — Entleerung und Füllung usw. — vorzuziehen. Die Kocher werden bis 5,5 m äußeren Durchmesser und 14 m Totalhöhe gebaut; sie haben dann 200 cbm Inhalt und können bei 8 Atm. Betriebsdruck 15 t für die Kochung, die zwischen 8—36 Stunden dauert, liefern (Kocher von J. M. Voith in Heidenheim usw.). Die Kocher werden ausgemauert oder verbleit, letzteres meist nur für Schnellkochung bei hohem Druck. Es ist jedoch für die Güte des Materials besser, langsam bei nicht zu hohem Druck zu kochen.

Die Entleerung des großen Kocherinhaltes ist sehr umständlich, wenn sie von Hand besorgt werden muß. Besser und für den Großbetrieb nicht umgehbar sind die Verfahren, bei welchem die Entleerung unter dem Druck einer Wassersäule oder mit Hilfe niedergespannten Dampfes erfolgt. Letzteres hat noch den Vorteil, daß der Kocher nicht abgekühlt wird und weniger Wärmeverluste entstehen, abgesehen von der Schonung, die man der Auskleidung angedeihen läßt. Die Entleerung erfolgt zweckmäßig in einen holländerähnlichen Behälter (vgl. Papierfabrikation), der ganz eingeschlossen und mit Dunstschlauch für den Abzug des Dampfes versehen ist. In dieser Kufe erfolgt das Waschen, Auflösen (Aufschlagen) und die Verdünnung des gekochten Materials. Eine Pumpe, die für die Zerfaserung eingerichtet sein kann, fördert das Material über eine als Astfang bezeichnete Vorrichtung, in welcher Verunreinigungen, unverkochte Astteile usw. abgeschieden werden, in einen Sandfang, in dem sich — vgl. Papierfabrikation — Sand, Kalkteilchen und Unreinigkeiten absetzen. Nach Durchgang durch eine Sortiermaschine, die Knoten absondert, geht der Stoff schließlich zur Entwässerungsmaschine, die wie bei der Holzschlifferzeugung nach Zylindersiebsystem der Papiermacherei oder nach dem Langsiebsystem ausgeführt sein kann. Eine Bleichung des Zellstoffes geht in gewissen Fällen der Entwässerung voraus. Auf der Langsiebmaschine, die in Deutschland wegen ihrer größeren Leistungsfähigkeit vorgezogen wird, erfolgt die Eindickung des Zellstoffes in ähnlicher Weise wie bei der Langsiebpapiermaschine, jedoch ohne Schüttelung, da eine Verfilzung gar nicht angestrebt wird. Der Trockengehalt steigt dabei auf 40—50%. Für vollständige Trocknung — die aber nicht immer angestrebt wird — läuft die Zellstoffpappe noch über Trockenzylinder. Erwähnenswert ist schließlich die Rückgewinnung der Fasern aus den Abwässern. Sowohl das Laugenabwasser aus den Kochern wie die Abflüsse aus den sogenannten — oben beschriebenen — Abblaseholländern und der Ablauf von der Entwässerungsmaschine enthalten Fasern, deren Rückgewinnung rationell ist.

Die Zellstoffbereitung hat noch mehr als die Holzschliffherstellung die Steigerung der Leistungsfähigkeit der Papierindustrie zur Folge gehabt, da seitdem fast un-

beschränkte Massen von vorzüglichem Fasermaterial zur Verfügung stehen. Bei der Papierfabrikation sind Angaben über den Umfang der Rohstoffverwertungen enthalten, die den Nachweis erbringen, welche Bedeutung die Gewinnung der Zellstoffaser aus dem Holz, in dem sie in größter Menge und in vorzüglichster Qualität enthalten ist, für die Papierindustrie hatte. Die Erzeugung reiner Lumpenpapiere hat allerdings damit nicht aufgehört, da für besonders gute Gattungen von größter Reißfestigkeit der Hadernstoff immer das beste Material bleiben wird.

4. DIE FASERSTOFFE

Die Verarbeitung der Faserstoffe nimmt im wirtschaftlichen Leben aller Kulturstaaten eine hervorragend wichtige Stelle ein. Im Deutschen Reiche werden in den Faserstoffindustrien (Textil- und Papierindustrie mit ihren Nebenindustrien) rund 1,2 Millionen Arbeiter beschäftigt, d. i. ungefähr dieselbe Zahl, welche im Maschinenbau und in der Metallverarbeitung ihr Unterkommen findet, wobei aber zu bedenken ist, daß ein Teil der Maschinenbauanstalten auch mit dem in Deutschland ziemlich hoch entwickelten Textil- und Papiermaschinenbau beschäftigt ist. Die angelegten Werte lassen sich natürlich sehr schwer einschätzen, da eine genaue Statistik hierfür noch nicht besteht; doch können sie, soweit nur die in den Fabriken investierten Kapitalien und nicht auch die mitarbeitenden Reserven und in kaufmännischen Nebenunternehmungen angelegten Beträge in Betracht kommen, nach den in Betrieb befindlichen Spindeln, Webstühlen, Veredelungsanstalten und Papiermaschinen usw. auf einen Anlagewert von 3 Millarden geschätzt werden. Die Bedeutung der Faserstoffgewerbe ergibt sich am besten aus den großen jährlichen Produktionswerten bzw. aus den Import- und Exportziffern. So wurde zum Beispiel in der Textilindustrie, die vornehmlich auf ausländische (überseeische) Rohstoffe angewiesen ist, im Jahre 1909 an Spinnstoffen eingeführt:

	Baumwolle	Schafwolle	Hanf	Jute	Seidenabfälle
Doppelzentner	4559200	1959095	434835	1720492	13488
für Mark	460480000	340487000	26401000	6021700	3760000

Für die beiden an erster Stelle stehenden Faserstoffe, Baumwolle und Schafwolle, wurden somit im Jahre 1909 allein rund 800 Millionen Mark Rohstoffwert angelegt. Im Jahre 1907 betrug der Import für diese beiden Stoffe jedoch infolge der günstigeren Konjunktur zusammen 945 Millionen Mark, für Wolle allein fast 400 Millionen Mark.

Die Exportziffern zeigen in ähnlicher Weise, wie sehr die materielle Wohlfahrt der Bevölkerung vom guten Geschäftsgange in den Faserstoffindustrien abhängig ist. Es wurden ausgeführt:

	1909 M.	1908 M.	1907 M.
Baumwollwaren	310301000	343490000	421878000
Wollwaren	255053000	258188000	284858000
Seidenwaren	161465000	163566000	199919000
Kleider- und Putzwaren	101835000	105216000	129438000
Waren aus Flachs, Jute usw.	23503000	19930000	29186000
Seiden-, Woll-Lumpen, Tuchleisten	12028000	6739000	9361000
	864185000	897129000	1074640000

Unter den günstigen Konjunkturverhältnissen des Jahres 1907 exportierte also die deutsche Textilindustrie für mehr als eine Milliarde Waren, und auch unter den wesentlich schlechteren Verhältnissen des Jahres 1909 bezifferte sich die Ausfuhr noch auf mehr als 864 Millionen Mark.

In der Textilindustrie werden die Rohstoffe allen Naturreichen entnommen, sie können also pflanzlichen, tierischen und mineralischen Ursprungs sein. Zu diesen natürlichen Rohmaterialien treten noch künstliche hinzu, die ebenfalls den drei Naturreichen entstammen können. Die größte und wichtigste Rolle spielen jedoch die pflanzlichen und tierischen Stoffe, deren Bedeutung ungefähr gleich hoch eingeschätzt werden kann, nur nimmt von den pflanzlichen Materialien die Baumwolle infolge ihrer günstigen Produktionsbedingungen und ihres demzufolge verhältnismäßig niederen Preises im Wirtschaftsleben aller Völker eine überragende Stellung ein, zumal auch ihr hygienischer Wert ebenso wie ihre Dauerhaftigkeit im Gebrauch sehr hoch anzuschlagen sind. Über die hygienische Bedeutung der Baumwolle und Wolle stehen sich die Ansichten namhafter Ärzte und Hygieniker gegenüber, es sei nur an Dr. Lahmann und Prof. Dr. Gustav Jäger erinnert. Jedenfalls eignen sich beide, Baumwolle und Schafwolle, als schlechte Wärmeleiter gleich gut für die Erzeugung von Bekleidungsstoffen und Wäsche, wie sie sich auch vortrefflich veredeln — färben, bleichen, bedrucken und appretieren — lassen. Die Dauerhaftigkeit der Baumwolle ist indessen wesentlich größer als die der Wolle, und Versuche, die in dieser Hinsicht vorgenommen wurden, haben bestätigt, daß baumwollene Stoffe derselben Abnutzung auf viel längere Zeit widerstehen als wollene. Dagegen besitzen wollene Stoffe ein dauerhafteres schönes Ansehen, wie sie auch angenehmer im „Griff" (Befühlen) sind und sich zu geschmeidigeren, schmiegsameren Gebrauchsstücken verarbeiten lassen. Leinenstoffe sind bessere Wärmeleiter als baumwollene und wollene Stoffe, sie fühlen sich „kühler" an; ihr Preis liegt nicht unwesentlich höher als der der Baumwollstoffe. Die bemittelteren Stände werden wohl immer Wollstoffe für ihre Oberkleider verwenden, während für die Unterkleider Baumwolle oder Wolle, je nach der hygienischen Überzeugung, welcher sich der Träger anschließen zu müssen glaubt, gleichermaßen zur Anwendung gelangen wird. In den letzten Jahren hat die Verwendung der unmittelbar am Körper ungemein angenehm zu tragenden und von Dr. Lahmann besonders empfohlenen Makowäsche (Mako = ägyptische Baumwolle) sehr zugenommen. Die Produktion der Mako ist durch große Stauanlagen, die die Engländer in Ägypten angelegt haben, erheblich gestiegen, obzwar sie in den letzten Jahren den Bedarf nicht vollständig zu decken vermochte. Die Ernte des Jahres 1910 ist jedoch wieder eine ausreichende. Andere pflanzliche Fasern, wie der Flachs (Leinen), kommen für Bekleidungszwecke in beschränktem Maße in Betracht, so gewinnt auch die dem Chinagras ähnliche Ramie für verschiedene Gebrauchsartikel neuerdings eine zunehmende Bedeutung.

Für die Einteilung der Faserstoffe möge folgende Übersicht dienen:

5. NATÜRLICHE ROHSTOFFE

I. PFLANZLICHE FASERSTOFFE*

A) HAARBILDUNGEN (Samenhaare, Samenfasern). 1. Baumwolle; 2. Pflanzendunen (Bombaceen); 3. Pflanzenseiden (Asclepiadeen); 4. einheimische Wollhaare (Pappelwolle, Wollgraswolle, Rohrkolbenwolle).

* Vgl. F. von Höhnel, „Die Mikroskopie der technisch verwendeten Faserstoffe", Wien u. Leipzig; J. Wiesner, „Die Rohstoffe des Pflanzenreiches", Leipzig.

B) STENGELFASERN (dikotyle Bastfasern und Baste). 5. Flachs (Leinen); 6. Hanf; 7. Jute; 8. Nesselfaser; 9. Chinagras (Ramie); 10. Sunnhanf; 11. Gambohanf; 12. Hopfenfaser; 13. Faser des Papiermaulbeerbaumes; 14. Ginsterfaser; 15. Typhafaser; 16. Kosmosfaser (vgl. 29).

C) BLATTFASERN (monokotyle Fasern). 17. Neuseeländischer Flachs; 18. Manilahanf; 19. Sanseveriafaser; 20. Ananasfaser; 21. Alphafaser (Esparto); 22. Aloehanf; 23. Pitafaser (Sisalfaser); 24. Yuccafaser; 25. Palmenfaser; 26. Waldwolle.

D) FRUCHTFASERN. 27. Kokosfaser (Koirfaser).

E) VERFALLFASERN. 28. Torffaser.

F) EINIGE BESONDERE PFLANZLICHE FASERSTOFFE. 29. Kosmosfaser; 30. Stroh; 31. Kautschuk; 32. Holzfaser (Holzschliff und Zellulose).

II. TIERISCHE FASERSTOFFE

A) TIERHAARE UND WOLLEN. 1. Schafwolle; 2. Ziegenhaare (einheimische Ziegenwolle, Angorawolle, Kaschmirwolle, Tibetwolle); 3. Kamelwollen; 4. Schafkamelwollen; 5. Gerberhaare (Kuh- und Kälberhaare); 6. Roßhaare; 7. Hundehaare; 8. Hasen-, Kaninchen-, Biber-, Katzenhaare usw.; 9. Borsten; 10. Kunstwolle.

B) SEIDEN. 11. Echte oder edle Seide; 12. Wilde Seide; 13. Muschelseide; 14. Seide der Spinnen; 15. Seidenshoddy.

III. MINERALISCHE FASERSTOFFE

1. Asbest.

6. KÜNSTLICHE ROHSTOFFE

A) PFLANZLICHER ABSTAMMUNG. 1. Kunstseide und Glanzstoffe; 2. Künstliches Roßhaar; 3. Künstliches Stroh.

B) TIERISCHER ABSTAMMUNG. 1. Gelatineseide (Vandurasseide); 2. Kaseinseide.

C) MINERALISCHER ABSTAMMUNG. 1. Metallfäden; 2. Glasfäden.

5. NATÜRLICHE ROHSTOFFE
I. PFLANZLICHE FASERSTOFFE

HAARBILDUNGEN. 1. Die Baumwolle (gossypium, cotton, coton) (Abbildungen 8, 8a, 8b, 8c) ist eine Samenfaser, die an das etwa erbsengroße Samenkorn der Baumwollfrucht angewachsen ist. Letztere ist walnußgroß und besteht aus einer 3- bis 5fächerigen Kapsel, die zur Zeit der Reife aufspringt, worauf die elastischen Faserbüschel hervorquellen. Die Pflanze gehört zur Familie der Malven (Malvaceen) und war schon den alten Völkern als Kulturpflanze gut bekannt, in Indien dürfte der Baumwollbau 3000 Jahre alt sein. Das Gewächs gedeiht krautartig, strauch- und baumartig und wechselt im Wuchs zwischen 1 bis 6 m Höhe.

Man unterscheidet botanisch vier Hauptarten:

a) Gossypium herbaceum (krautartige Baumwolle), die vornehmlich in Ostindien gezogen wird und eine kürzere Faser von 15—25 mm hat.

b) Gossypium hirsutum (haarige, zottige Baumwolle), die in den Vereinigten Staaten von Nordamerika den Hauptteil der jährlichen Ernte abwirft, strauchartig ist

und ihren Namen von der feinen Behaarung der Blattstiele hat; ihr Stammland ist wahrscheinlich Mexiko, in dem die erobernden Spanier die Baumwolle wild wachsend angetroffen haben sollen. Die Faserlänge schwankt zwischen 20—36 mm und liegt im Mittel bei 26—30 mm.

c) Gossypium barbadense (Barbados-Baumwolle oder westindische Baumwolle) von ausgezeichneter Beschaffenheit, mit langer, seidiger, feiner weißer Faser, welche eine Länge bis 50 mm erreicht. Die beste Gattung ist bekannt unter dem Namen der Sea Island (Seeinsel-Baumwolle), die auf den Inseln des westindischen Archipels und in den Küstengebieten der Union gedeiht, jedoch nur in geringen Mengen gezogen werden kann. Stammland ist die um Barbados liegende Inselgruppe, daher auch die Bezeichnung. Die Pflanze ist strauchartig.



Abbildung 8. Baumwollstaude (blühend).

d) Gossypium arboreum (baumartige Baumwolle), erreicht eine Höhe bis 6 m, gedeiht auch mehrjährig (perennierend), d. h. sie braucht nicht in jedem Jahre neu angepflanzt zu werden. Die Faserlänge ist ungleich, 20—40 mm.

Da die Baumwolle sich sofort dem Klima anpaßt (akklimatisiert), verwischen sich die botanischen Unterscheidungsmerkmale oft so sehr, daß man neue Arten vor sich zu haben glaubt. In den Vereinigten Staaten von Nordamerika pflegt man die Gossypium hirsutum und barbadense (Sea Island) auch nach den Samen zu unterscheiden in „green seed" (grüner Samen) und „black seed" (schwarzer Samen), je nachdem das Korn mit einem kurzen harten Flaum auf dunkelgrünlicher Samenrinde bewachsen oder glatt und schwarz ist. Landwirtschaftlich ist die Kultur der Pflanze in den Vereinigten Staaten von Nordamerika jedenfalls am besten entwickelt, doch dürfte die ägyptische Baumwollenkultur ihr heute nicht mehr sehr nachstehen, während in Ostindien trotz mancher Anstrengungen der Engländer der Anbau sowohl wie namentlich

auch die Ernte zum Teil noch in primitiven Formen durchgeführt werden. In Nordamerika bauen zehn Staaten Baumwolle: Nord- und Südcarolina, Georgia, Florida, Alabama, Mississippi, Louisiana, Texas, Arkansas, Tennessee. Der Boden wird im Februar und März vorbereitet, Anfang und Mitte April beginnt das Säen, das bis gegen Mitte Mai dauert, die Ernte fängt Mitte August an und dauert bis Mitte Januar, da die Blüten nur nach und nach erscheinen und ausreifen. Die Felder blühen demnach monatelang. In den südlichen Gebieten liegen die Termine naturgemäß früher als in den nördlichen. Von Beginn der Saat bis zur Ernte verstreichen 4—5 Monate. Da die Ernte von Ende August bis Anfang Januar andauert (100—120 Tage) und in drei Perioden (ground crop, middle crop als Hauptemte, top crop) stetig verläuft, ist das Einsammeln von Hand, für das bei plötzlicher Ausreifung aller Früchte die Arbeitskräfte gar nicht zu beschaffen wären, ohne Schwierigkeit durchführbar. Ein Arbeiter sammelt täglich etwa 100 Pfund, die mechanische Erntung hat sich bisher als undurchführbar erwiesen. Die Abtrennung der Fasern von dem Samenkorn (Entkörnen, Egrenieren) hat großen Einfluß auf die Sauberkeit des Stoffes, die alten Einrichtungen mit der primitiven Walzenabtrennung, bei der viele Samen zerdrückt werden, gelangen nur noch vereinzelt in Indien zur Anwendung, in großen Produktionsländern werden ausschließlich Entkörnungsmaschinen (Gins) verwendet. Die beiden wichtigsten Typen derselben sind die Plattenmaschine (Macarthy gin) und die Sägemaschine (saw gin). Die alte Walzenmaschine besitzt zwei aufeinanderliegende Walzen, von welchen eine oder beide mit riffelartigen, sehr steil schraubenförmigen Leisten versehen sind, die die Faserbüschel durchziehen und die Körner abdrücken. Die Plattenmaschine (Abbildung 9), welche ebenfalls eine Walze besitzt und



Abbildung 8a. Baumwollstauden, krautartig, mit Knospen, Blüten und Früchten.



Abbildung 8b. Baumwollblüte.

deshalb wohl auch als Walzenmaschine bezeichnet wird (roller gin), besteht aus einer belederten Walze A, die mit 150 Umdrehungen minutlich umläuft und an welche sich ein feststehendes stellbares Messer B anlegt, während in geringem Abstand vor letzterem ein zweites Messer F (Platte) mit stumpfer Kante in sehr großer Schwingungszahl (700—1000) vorbeigeht. Eine Art Stoßvorrichtung T schiebt die Saatbaumwolle gegen die Messer, wo sie von der rauhen Oberfläche der Walze, die zudem mit schrägen Nuten ausgestattet ist, erfaßt wird. Die Samenkörner werden, da sie sich an der Kante des feststehenden Messers festlegen, abgerissen, indem das schwingende Messer gegen sie stößt.

Die Säge-Entkörnungsmaschine (Abbildung 10) besitzt eine größere Zahl von Sägeblättern A, die durch Rostspalten in den Einwerf-Raum F der Saatbaumwolle greifen und mit den Zähnen die Faserbüschel erfassen und mitreißen. Die Körner bleiben an den für ihren Durchtritt zu engen Rostöffnungen hängen und werden abgetrennt, das Fasermaterial streift eine Bürstenvorrichtung B von den Sägeblättern A ab.

Der Ertrag an Baumwolle beträgt in der Union für 1 Acker etwa $^2/_5$—$^1/_2$ Ballen, letzterer im Durchschnitt 450—550 lbs englisch (1 lb = 453,6 gr) wiegend (vgl. Abbildung 16). Die Produktionskosten beziffern sich je nach dem vom Wetter und dem Auftreten von schädlichen Einflüssen auf 24—30 Pfennig für das Pfund englisch, wobei die Einnahmen aus dem Samen, der für die Ölgewinnung von großer Bedeutung ist, schon einbezogen sind. Anhaltender Regen, große Dürre, Spät- und Frühfröste und verschiedene Raupen und Würmer (Baumwollraupe oder cotton-caterpillar, Bollenwurm oder Bollworm usw.) können die Ernte ungünstig beeinflussen.

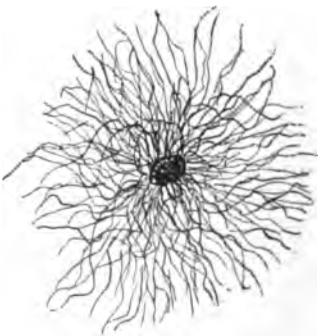


Abbildung 8c Baumwollsamen mit Samenhaaren.

Die Baumwolle besteht in der Hauptsache aus reiner Zellulose $C_6H_{10}O_5$. Nach einer Untersuchung bestand

Tennessee-Baumwolle aus 6,74 % Wasser, 1,65 % Asche, 1,5 % Proteinkörpern, 83,71 % Zellulose, 5,79 % stickstofffreiem Extrakt und 0,61 % Fett. Die Fasersubstanz enthält etwa 44,5 % C, 6,1 % H und 49,4 % O; ihr spezifisches Gewicht liegt im Mittel bei 1,5. Da die Faser ein am Samenkorn festgewachsener und während der Entwicklung mit Protoplasma erfüllter Zellfortsatz ist, besitzt sie einen Hohlraum (Lumen) (Abbildung 11 und 12). Das äußere Ende ist spitz zulaufend, die Abtrennungsstelle zeigt unregelmäßige Rißbildung. Infolge der Eintrocknung des Zellinhaltes, die teilweise schon während der Entwicklung eintritt, fallen die Zellwände ungleichmäßig ein, woraus sich Verdrehungen in der Zellwand bilden, die als für die Baumwolle charakteristische korkzieherartige Windungen bekannt sind (vgl. Abbildung 11 und 12). Die Faser erscheint durch ihre Verdrehungen ungleich dick, im Mittel etwa 18 bis 22 Mikron (1 Mikron = 1/1000 mm). Die Zellwand ist von einem feinen Außenhäutchen (Kutikula) bedeckt, das seiner Zusammensetzung nach aus korkartiger Substanz besteht und sich bei Auflösung in Kupferoxydammoniak anders verhält als die Zellulose der Zellwand, d. h. die Kutikula ist widerstandsfähiger, wodurch sich infolge der Quellung der Zellsubstanz, die der Auflösung vorausgeht, ballonartige Auftreibungen bilden, die besonders charakteristisch für die Erkennung der Baumwolle sind (Abbildung 13). In konzentrierter Schwefelsäure und Salzsäure löst sich die Faser auf, aber auch verdünnte Schwefelsäure und Salzsäure können die Faser, die hydratisiert wird und in Hydrozellulose übergeht — d. i. ein mürber, zerreiblicher Körper — schwer schädigen. In einer Mischung von Schwefel- und Salpetersäure, wobei die Säuren ein bestimmtes spezifisches Gewicht besitzen müssen und auch ein bestimmtes Mischungsverhältnis einzuhalten ist, wird die Baumwollzellulose nitriert, und es treten an Stelle von 3 H-Atomen 3 Nitrokörper NO_2. Diese Nitrozellulose $C_6H_7(NO_2)_3O_5$ ist ein sehr wirkungsvoller Explosivkörper und wird als Schießbaumwolle bezeichnet. In Ätheralkohol zu Kollodium von honigartiger Kon-

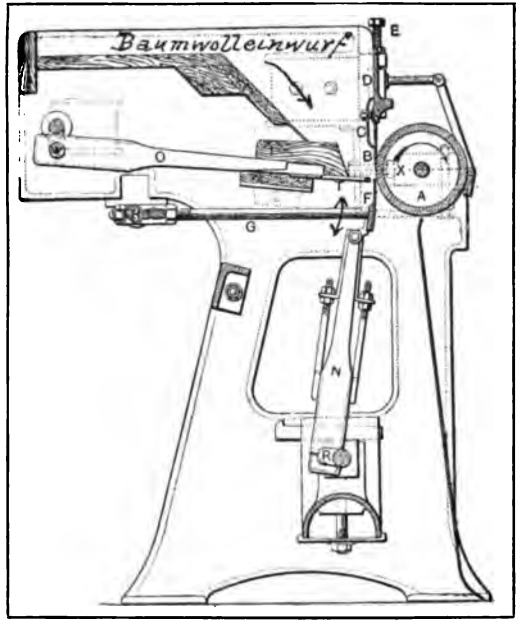


Abbildung 9. Plattenentkörnungsmaschine.

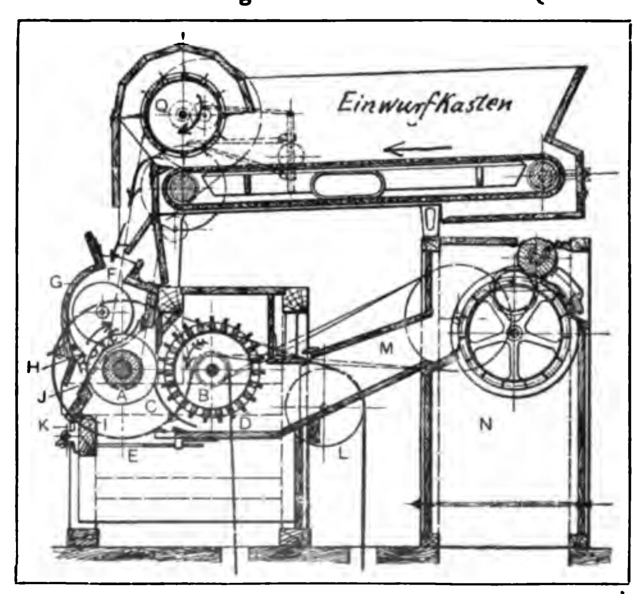


Abbildung 10. Säge-Entkörnungsmaschine.

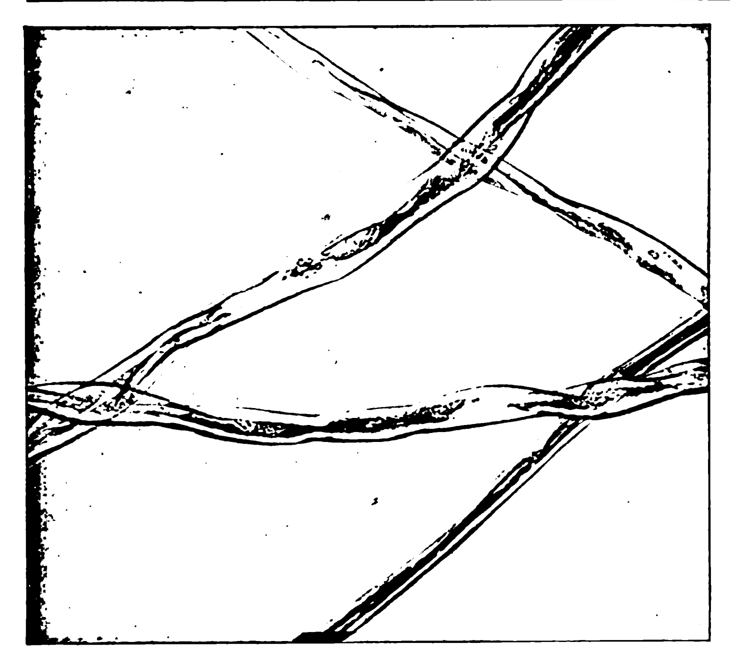


Abbildung 11. Baumwollfasern (natürlicher Zustand).

sistenz gelöste Nitrozellulose benutzte v. Chardonnet erstmals zur Gewinnung künstlicher Seide. Gegen organische Säuren (Weinsäure, Essigsäure, Oxalsäure usw.) im kalten Zustande ist Baumwolle widerstandsfähig, im erwärmten Zustande wird sie gelöst. Alkalische Lösungen lösen die Baumwolle nicht, doch führen sie in höheren Konzentrationen (30—40° Bé) zu einer eigenartigen Veränderung, die man nach dem Entdecker des Vorganges, dem englischen Chemiker Mercer (1845), als Mercerisationserscheinungen bezeichnet. Die Alkalisierung der Baumwollfaser in Kali- oder Natronlauge bewirkt nämlich eine Lösung der Kutikula und eine Quellung und Auftreibung der Zellwand, mit der als notwendige Folge eine Schrumpfung in der Längsrichtung verbunden ist (bis 1/4 der Ursprungslänge). Gleichzeitig steigt die Festigkeit der Faser und ihre Aufnahmefähigkeit für Farbstoffe. Im losen Zustande mercerisierte Baumwolle sieht mikroskopisch runzelig aus (Schrumpfungsrunzeln). Erfolgt die Einwirkung der alkalischen Lösung auf Gespinste, Zwirne und Gewebe, während die Faser unter Spannung gehalten und an der Schrumpfung gehindert wird, so ändert sich die Struktur, die korkzieherartigen Drehungen verschwinden fast ganz und die Faser nimmt zum Teil eine stäbchenartig-zylindrische Form an (Abbildung 14). Durch letztere wird die Reflexionswirkung erhöht, und da der chemische Vorgang die Fasersubstanz zugleich glänzender macht, entsteht ein Aussehen, das man als „seidenähnlich" bezeichnen kann. Auf Geweben wird die Wirkung dieses Seidenglanzes durch Einpressen sehr vieler feiner Rillen (20 auf 1 mm) und die Erzeugung zahlreicher reflektie-

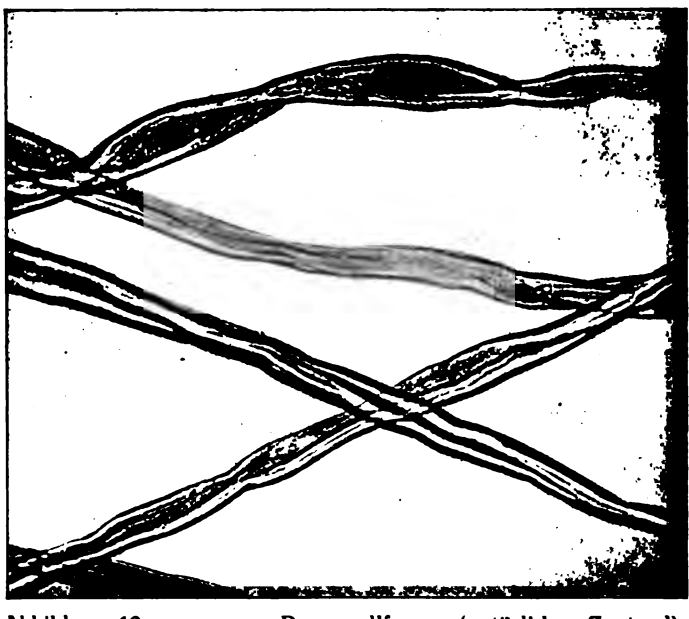


Abbildung 12. Baumwollfasern (natürlicher Zustand).

render Flächen noch bedeutend gesteigert (Seidengaufrage).

Rein weiße Baumwolle gibt es nicht, das Weiß hat immer einen Stich ins Gelbliche oder Graugelbliche; allerbeste Sorten, wie die ägyptische Mako (brown Egyptian), besitzen sogar ausgesprochen cremegelbe Farbe. Für die Bleichung der Baumwolle werden chemische Mittel benutzt, durch die eine lebhafte Freigabe von O entsteht. Es sind das vornehmlich die Salze der unterchlorigen Säure (Hypochlorite), so zum Beispiel Chlorkalk (Kalziumhypochlorit). Die Bleichung erklärt man als Oxydationsprozeß, durch den die Farbstoffe der Faser (das Endochrom) in farblose Substanzen überführt oder ganz entfernt werden. Das Agens der Javelleschen Lauge ist Kaliumhypochlorit, und bei der sogenannten elektrischen Bleiche wird durch eine Lösung von Chlornatrium (Kochsalz) ein elektrischer Strom geleitet — die Lösung passiert einen Elektrolisator —, wobei eine Lösung von unterchlorig-saurem Natron (Natriumhypochlorit) gebildet wird, die in entsprechender Verdünnung als Bleichflotte zu verwenden ist.

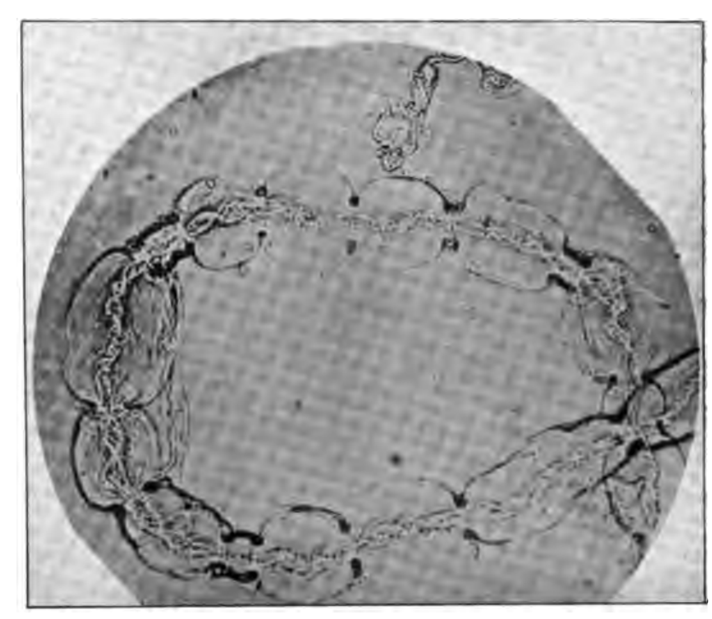


Abb. 13. Baumwollfasern nach Einwirkung von Kupferoxydammoniak.

Die volle Bleichung der Baumwolle erfordert jedoch außerdem verschiedene Vor- und Nacharbeiten, so vor allem das Kochen in alkalischer Lösung (Bäuchen) und das Säuern, wobei stets auf sorgfältige Entfernung aller chemischen Rückstände Bedacht zu nehmen ist, weil sonst die Faser durch nachträglich auftretende chemische Veränderungen zerstört oder wenigstens angegriffen wird. Die Rasenbleiche, bei welcher der Luftsauerstoff die Oxydationsvorgänge veranlaßt, ist für Baumwolle wegen der langen Dauer und der unvollkommenen Wirkung längst aufgegeben.

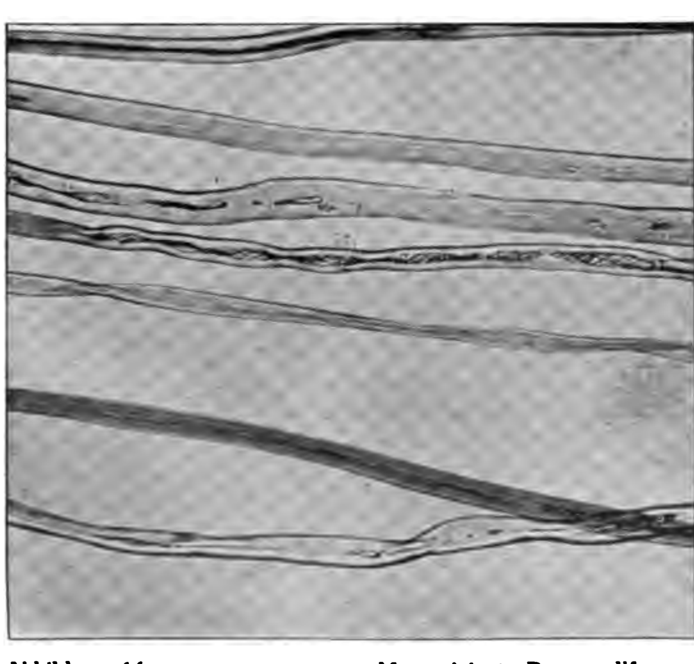


Abbildung 14. Mercerisierte Baumwollfasern.

Der Handel mit Baumwolle erfolgt nach bestimmten Klasseneinteilungen, die für die verschiedenen Rohstoffprovenienzen verschieden sind. So gelten zum Beispiel die ansteigenden Klassen nach englischer Bezeichnung: 1. für amerikanische Baumwolle aus den Vereinigten Staaten: ordinary, good ordinary, low middling, middling, good middling, middling fair, fair; 2. für Sea Island aus den Vereinigten Staaten: ordinary, common, medium, good medium, medium fine, fine, extra fine; 3. für amerikanische Baumwolle aus Brasilien: middling, middling fair, fair, good fair, good, fine; 4. für ägyptische Baumwolle (Mako oder Jumel): ordinary, middling, middling fair, fair, good fair, good, fine, extra fine; 5. für ostindische Baumwolle (Surat): fair, fully fair, good fair, fully good fair, good, fully good, fine.

Für den Handel sind die Bestimmungen der Baumwollbörsen der einzelnen Länder maßgebend, für Deutschland in erster Linie jene der Bremer Börse. Grundlegend für die Entwicklung des Handels waren die Bestimmungen der Liverpooler Börse; dieser Platz ist auch heute noch der bedeutendste für den englischen und internationalen Baumwollhandel, obzwar der direkte Einkauf an amerikanischen Plätzen im Laufe der Jahre beträchtlich zugenommen hat. Neben den Klassen werden dem Rohstoff besondere Bezeichnungen, die seine Qualität näher angeben, beigegeben; so für die Farbe:

good color	gutfarbig, weiß,
tinged	gelblich, gelblichweiß,
stained	fleckig, rostgelbe Flocken enthaltend,
high color	dunkelgelblich bis roströtlich;

für die Faser (den Stapel):

good staple	gute, kräftige Faser,
very good staple . .	sehr gute und kräftige Faser,
strong staple . . .	besonders starke Faser,
silky staple	seidenähnliche (seidige) Faser usw.

	Curve d. Durchschnittspreise (35–80 Pfg. f. ½ Kg.)	Ernte in Ballen	Höchster Preis in Pfg. f. ½ Kg.	Niederster Preis in Pfg. f. ½ Kg.
1901	48,4	10425141	64½	40½
02	45,1	10701453	51¼	39¾
03	52,1	10758326	67½	41-
04	65,5	10123686	85¼	53½
05	46,7	13556841	57¼	35-
06	57,2	11319860	62½	50½
07	59,1	13550760	69½	50-
08	58,2	11581829	69½	48½
09	52,0	13652000	66-	44¾

Curve d. Durchschnittspreise

Abbildung 15. Preis- und Erntetabelle der Baumwolle von 1901—1909.

Als „tote Baumwolle“ werden unreife Fasern bezeichnet.

Auch die Länge der Faser wird in vielen Fällen ausdrücklich angegeben: 28—30-mm-Stapel, 30—32-mm-Stapel usw., wodurch vornehmlich die durch das Stapelziehen von Hand erhaltenen längsten Fasern bezeichnet werden sollen. Ostindische Baumwolle hat durchschnittlich 10—20 mm, nordamerikanische 20—32 mm, Sea Island bis 40 mm, ägyptische 32—40 mm Faserlänge. Die ostindische kann als kurzstaplig, die amerikanische als mittel- oder gutstaplig, die Sea Island und ägyptische als langstaplig bezeichnet werden. Der Stapel ist besonders wichtig für den Spinnprozeß.

Der Beisatz „average“ soll angeben, daß die Lieferung nicht durchaus von gleicher Klasse zu sein braucht, sondern nach unten und oben bis zu je 1/2 Klasse abweichen darf; jedoch muß der minderwertige Teil immer durch einen höherwertigen ausgeglichen und der „Durchschnitt“ (average) erreicht sein.

„Evenrunning“ ist der Gegensatz zu „average“, die Partie hat gleichmäßige Klasse, die Abweichungen sind nur sehr gering.

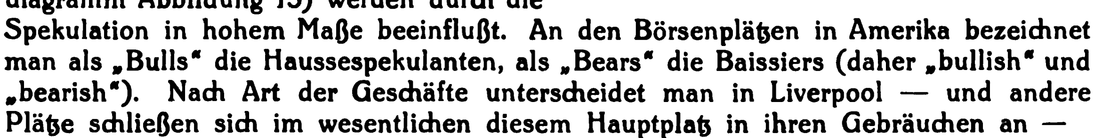


Abbildung 16. Baumwollballen in Originalpackung (links ostindische, rechts nordamerik. Baumwolle).

Die Baumwollpreise (vgl. das Preisdiagramm Abbildung 15) werden durch die Spekulation in hohem Maße beeinflußt. An den Börsenplätzen in Amerika bezeichnet man als „Bulls“ die Haussespekulanten, als „Bears“ die Baissiers (daher „bullish“ und „bearish“). Nach Art der Geschäfte unterscheidet man in Liverpool — und andere Plätze schließen sich im wesentlichen diesem Hauptplatz in ihren Gebräuchen an —

1. Verkäufe von Baumwolle auf Ankunft (to arrive);
2. Verkäufe von Baumwolle, die in Liverpool lagert;
3. Verkäufe von Baumwolle auf Termin (Terminhandel, futures);
4. Kost-Fracht- (c. f.) Käufe;
5. Kost-, Assekuranz- und Fracht-Käufe (cif.).

Bei der letzten Verkaufsmethode, die von den deutschen Konsumenten stark bevorzugt wird, sind die Platzspesen und die aus den Versicherungen und der Fracht erwachsenden Unkosten bis loco Kontinentalhafen im Preise inbegriffen.

Die wichtigsten Plätze für den europäischen Baumwollhandel sind:

Deutschland . . . . Bremen und Hamburg;
England . . . . . . Liverpool und London;
Frankreich . . . . . Havre und Marseille;
Holland . . . . . . Amsterdam und Rotterdam;
Belgien . . . . . . Antwerpen;
Österreich . . . . . Triest und Bremen;
Italien . . . . Genua, Venedig und Neapel

Jedoch werden in Deutschland große Quantitäten auch direkt von Neuyork, Neuorleans und Havre bezogen, ebenso ist Triest ein wichtiger Stapelplatz für ostindische und namentlich für ägyptische Provenienzen

Baumwollernten und -verbrauch in verschiedenen Ländern.

(In Ballen ausgedrückt.)

	1900/01	1901/02	1902/03	1903/04	1904/05	1905/06	1906/07	1907/08
Nordamerikanische	10425141	10701453	10758236	10123686	13556841	11319860	13550760	11581829
Ostindische	3377000	4122000	4183000	4471000	4061000	4797000	5195000	4303000
Brasilian., von 1902/03 ab einschließlich aller übrigen Länder	9000000	1052000	2804000	2760000	2172000	2542000	2443000	2867000
Ägyptische	711000	864000	768000	797000	843000	798000	926000	965000
Zusammen	15413000	16739000	18513000	18152000	20633000	19457000	21114000	19717000
Diese Rohstoffmengen wurden in folgender Weise (in Ballen) verteilt:								
Amerikanische: Vereinigte Staaten	3729453	4207287	4151091	4144878	4550058	4852352	5195750	4241817
Amerikanische: Export nach England	2995434	3046116	2847652	2582646	4128952	2902846	3789643	2960746
Amerikanische: Export nach dem Kontinent, Export nach Japan, China usw.	3643379	3715360	3951920	3551486	4748448	3813505	4737585	4622332
Ostindische: Ostindien	2090000	2504000	2480000	2488000	2587000	2770000	2728000	2600000
Ostindische: Export nach England	104000	27000	132000	138000	46000	99000	102000	71000
Ostindische: Export nach dem Kontinent	780000	731000	1162000	1380000	690000	1403000	1593000	1144000
Ostindische: Export nach Japan, China usw.	403000	860000	409000	465000	738000	525000	772000	488000
Ägyptische: Export n. Amerika	57715	106565	84819	55162	80440	69478	115565	78391
Ägyptische: Export nach England	325587	322819	351745	375049	399458	389338	444066	449966
Ägyptische: Export nach dem Kontinent	317080	420444	321549	359191	349659	332459	353616	360773
Ägyptische: Export nach Japan, China usw.	9149	13965	10334	8021	13433	6710	9561	18774

Unter Arbitration der Baumwolle versteht man die schiedsgerichtliche Entscheidung über einen Klassenabfall der Baumwolle. Alle Baumwollbörsen haben Schiedsgerichte, welchen im Streitfalle die Muster der gelieferten Baumwolle eingesandt werden. Durch einen Vergleich mit den Grundtypen, den Standards, wird die Klasse festgestellt, wobei beeidigte Klassierer, denen die Parteien unbekannt bleiben, die Klassierung vornehmen. Deutschland und Österreich lassen heute hauptsächlich in Bremen arbitrieren, in Liverpool werden alle Provenienzen arbitriert. Die Arbitration erfolgt nach einem bestimmten, vom Börsenkomitee bearbeiteten Regulativ. In Bremen werden sowohl die Qualität (Klasse) wie die Ersatzansprüche wegen Beschädigung und Feuchtigkeitsüberschuß, falscher Packung usw. festgestellt.

Bemerkenswert sind die Bestrebungen, deutschkoloniale Baumwollkulturen zu entwickeln. Obzwar die Versuche sich noch im Anfangsstadium befinden, so sind doch schon bemerkenswerte Erfolge erzielt worden. Der frühere Staatssekretär der Kolonien, Dernburg, hat 1907 dargelegt, daß die deutsche Industrie sich hinsichtlich der Versorgung mit Baumwolle in einer schwierigen Lage befinde, die infolge der Preissteigerung von 29 Pf. für 1/2 kg im Jahre 1899 bis auf 59, 68 und 75 1/2 Pf. jetzt

chronisch zu werden droht, da insbesondere auch die Produzenten Nordamerikas alle Mittel anwenden, um diese Preishöhe ständig zu erhalten. Deutschland zahlt je nach den übertriebenen Preissteigerungen 150—200 Millionen Mark jährlich an Mehraufwand an die ausländischen Produzenten, eine Summe, die klar dartut, von welcher wirtschaftlichen Bedeutung für das Reich die Erreichung der Unabhängigkeit in bezug der Baumwolle sein würde, weil diese großen jährlichen Summen eine enorme Erhöhung des Nationalreichtums bilden würden.

Gepflanzt wird Baumwolle gegenwärtig schon in allen afrikanisch-deutschen Kolonien, d. i. in Togo, Kamerun, Südwestafrika, Ostafrika. Auch in Neuguinea fanden Pflanzungsversuche statt. Die Togoqualität entsprach anfangs besser als im Jahre 1909 und erzielte einen Durchschnittspreis von 54—55 Pf. für 1/2 kg. Die Ursachen für den Rückgang wurden in dem Versuch, die Stauden perennieren zu lassen, und auf weniger sorgfältige Entkörnung zurückgeführt. Die Kultur in Kamerun, ebenso wie die in Südwestafrika, lieferte seither noch keine nennenswerten Ergebnisse, wofür namentlich die schlechten Verkehrsverhältnisse und die ungünstige Lage nach dem Kolonialkrieg ursächlich sind. Dagegen sind die Aussichten in Ostafrika bessere, zumal die Industrie selbst sich für die Baumwollkultur in dieser Kolonie lebhaft interessiert. Im Bezirk Rufiyi wurden 1908/09 von den Eingeborenen 800000 Pfd., in Kilwa 500000 Pfd. Saatbaumwolle geerntet. Das Kolonialwirtschaftliche Komitee in Berlin, das sich um die Entwicklung der deutschen Kolonialbaumwollkultur sowohl in Togo wie in Ostafrika große Verdienste erworben hat, sucht durch Lieferung von Saatsamen, Pflügen usw. und durch Errichtung von Entkörnungsanstalten die Eingeborenen und die weißen Pflanzer, deren Zahl zugenommen hat, zu fördern. Hierzu gehören auch die Anstrengungen zur Erschließung brachliegender Gebiete, die Förderung der Verkehrseinrichtungen und die Aufstellung einer Preisgarantie. Die ostafrikanische Ernte erzielte 1908 für 1/2 kg einen Preis von 64 Pf. In Panganja ist eine Schulpflanzung von 86 ha vom Komitee errichtet worden, die 1908 rund 31000 lbs Rohbaumwolle erzeugte. Die Baumwollspinnerei von Heinrich Otto in Reichenbach in Württemberg hat in Kilossa mit Dampfpflügen ein Areal von etwa 100 ha bearbeitet. Ebenso haben die Leipziger Baumwollspinnerei, die Firma Herm. Schubert in Zittau und die Ostafrika-Kompanie größere Komplexe in Bebauung genommen.

Der Bedarf an Baumwolle ist in Deutschland von 0,53 kg pro Kopf im Jahre 1850 auf 7 kg im Jahre 1907 gestiegen. 1900 verbrauchte Deutschland etwa 300000 Ballen Baumwolle, 1909 jedoch 1,6 Millionen.

2. Pflanzendunen (Bombaceen). Hierzu gehören die Fruchthaare der Wollbäume, so die Kapokwolle, Ceibawolle, Bombaxwolle (vom Bombas malabaricus in Ostindien), Patte de lièvre usw. Sie werden bis heute nicht selbständig versponnen, da die Faser außerordentlich flüchtig und zart ist; ihre Verwendung beschränkt sich hauptsächlich auf Stopfzwecke, doch wurden einzelne Arten, zum Beispiel Kapok, in Mischung mit Baumwolle nach dem Streichverfahren auch zu groben Gespinsten verarbeitet. Die Bombaxwollen sind einzellige Haare von 10—30 mm Länge und rundem Querschnitt, mit Luft und wenig Protoplasma erfülltem Lumen und nach v. Höhnel mit gut entwickelter Kutikula versehen. Da die Faser ziemlich verholzt ist, zeigt sie in Kupferoxydammoniak nur geringe Quellungserscheinung. Die Dicke beträgt im Mittel 30 Mikron. Die Kapok wird in den deutschen Kolonien in zunehmendem Maße gezogen und bietet, da ihre Kultur nicht schwierig ist, gute Aussichten.

3. Pflanzenseiden (Asklepiadeen und Apocyneen), einzellige, weiße oder gelbliche sehr glänzende Pflanzenhaare tropischen Ursprungs. Das Material ist im Mittel

30 mm lang, enthält aber sehr viel kurze Fasern unter wenigen längeren (bis 55 mm); die Dicke schwankt um 40 Mikron, steigt aber bis zu 70 und sogar mehr. Die Zellwand ist verholzt, der Querschnitt rund; im Lumen dieser Faser liegen eigentümliche Längsleisten. Die Pulufaser der Sandwichinseln zählt nach v. Höhnel im weiteren Sinne ebenfalls hierher. Versponnen werden die vegetabilischen Seiden bis heute nicht, weil ihre Sprödigkeit ebenso wie bei den Pflanzendunen die Einschmiegung in den Faden sehr erschwert. Versuche in Mischung mit Baumwolle sind dagegen erfolgreich gewesen (Streichverfahren). In der Hauptsache kommen diese Fasern nur als Stopfmaterial in Betracht.

4. Einheimische Wollhaare. Hierzu zählen die Fruchthaare der europäischen Pappeln, die Rohrkolbenwolle und die Wolle der Wollgräser. Die Pappelwolle ist bis 35 mm lang und etwa 20 Mikron dick. Versponnen werden diese Rohstoffe bis heute nicht, doch eignen sie sich sehr gut für Stopf- und Füllzwecke.

B) STENGELFASERN (dikotyle — zweisamlappige — Bastfasern und Baste). Die Fasern dieser Gruppe bestehen, soweit sie technisch verarbeitet werden, aus Gefäßbündeln (Zellbündeln), d. h. die Einzelzellen sind durch eine verbindende Substanz (Pflanzenleim) aneinandergeschlossen und der eigentlichen Verarbeitung zu Gespinsten hat eine Gewinnung des Fasermaterials durch Abtrennung des Bastes vom Stengel und Spaltung desselben bis zur erforderlichen Feinheit voranzugehen, was bei den einzelligen Samenhaaren wie der Baumwolle nicht notwendig ist. Hierdurch wird natürlich das Rohmaterial verteuert. Die faserliefernde Schicht des Pflanzenstengels ist also der Bast, der in der aus 5 Schichten bestehenden Stengelstruktur unmittelbar unter der Rinde liegt. Von außen nach innen ist der Stengel nach Abbildung 17 aus der Rinde 1, dem Bast 2, dem Splint 3, dem Holzkern 4 und dem Markstrang 5 aufgebaut, und die größte Länge der Fasern hängt somit von der Höhe, die der Stengel bis zu vollständiger Reife erreichen kann, ab. Die Gewinnungsarbeiten sind schwierig und umständlich und zerfallen in a) einen chemischen Teil, das Rotten oder Rösten, wobei die leicht zerfallende Splintschichte durch eine Fermentation zerstört und der Bast vom Holz abgelöst wird, und b) einen mechanischen Teil, in dessen Verlauf der Holzkern zertrümmert und ausgeschieden, der Bastschlauch gespalten und in möglichst feine Fasern zerlegt wird. Diese beiden Bearbeitungsphasen bleiben in der Hauptsache bei den verschiedenen Stengelfasern in Anwendung, nur treten im einzelnen Änderungen ein, die durch die Verholzung und Härte des Bastes, die Dicke des Holzkernes usw. bedingt sind. Alle Bastfasern bilden ein außerordentlich wertvolles Rohmaterial der Textilindustrie und Papierfabrikation, da sie hohe Festigkeit mit zum Teil großer Widerstandsfähigkeit gegen atmosphärische Einflüsse verbinden. Die Flachsfaser als wertvollste Bastfaser ist das beste Material für die Papierbereitung, da ihre Steifigkeit und Glätte die Herstellung eines festen, glatten Fabrikates sichern, während Baumwolle erst in zweiter Linie steht, weil sie weicher, schmiegsamer und haarartiger gekräuselt ist, so daß das Papier schwammiger, rauher (haariger) und auch poröser ausfällt.

5. Flachs oder Lein (engl. flax, line; franz. line). Der Flachs oder die Leinpflanze (linum usitatissimum) ist eine der ältesten Kulturpflanzen und stammt, wie man annimmt, aus dem Gebiet zwischen dem Persischen Meerbusen und dem Kaspischen See. Die alten Völker haben den Flachs ausgiebig verwendet, die ägyptischen Mumien sind vornehmlich in Leinengewebe gehüllt. Auch der germanische Norden kannte frühzeitig die Flachskultur, und ebenso war sie den keltischen und slawischen Völkern bekannt. Ein wesentlicher Grund für die weite Verbreitung der Pflanze ist

einerseits in ihrem guten Fortkommen in allen Teilen der gemäßigten Zone, andererseits aber wohl auch in dem Umstande zu finden, daß die Faser sich infolge ihrer großen Länge ohne zu große Schwierigkeit von Hand verspinnen läßt und auch von Völkern, die eine hohe Kulturstufe noch nicht errungen hatten, verarbeitet werden konnte.

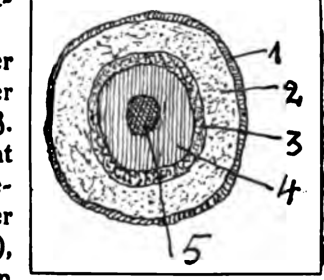


Abbildung 17. Schnitt durch den Flachsstengel.

Die Pflanze ist einjährig und wird etwa 1 m hoch; der lange, dünne Stengel verästelt sich an der Spitze, die Blätter sind lanzettförmig, die Blüten meist hellblau, selten weiß. Bei dem höheren Dreschlein springen die reifen Kapseln nicht auf, der Samen muß ausgedroschen werden; bei dem niedrigeren Spring- oder Klanglein springen die Kapseln in der Reife von selbst auf. Die Frucht ist kugelig (Samenknoten), erbsengroß und meist fünffächerig, in ihr liegen die platten Samenlinsen (Leinsamen), aus welchen das Leinöl gewonnen wird. Hauptproduktionsländer sind Rußland, Belgien, Holland, Irland, Frankreich, Österreich, Deutschland (Schlesien) und Italien. In Deutschland wird der Flachs noch so ziemlich überall gebaut, doch hat der Anbau infolge des Rückganges der Hausindustrie (Hausleinen) und weil lohnendere Kulturgewächse aufgenommen werden, in vielen Gegenden eine Einschränkung erfahren. Außer in Schlesien, das größere Anbauflächen für Flachs besitzt, wird er in Bayern, Württemberg, Westfalen, der Rheinprovinz und auch in Hannover gezogen.

Die Ernte erfolgt zur Zeit der Gelbreife (Gelbwerden der unteren Stengelblätter). Die Samenreife fällt etwas später. Die Stengel werden, ausgerauft und gebündelt, auf dem Felde einer kurzen Nachreife ausgesetzt, wobei auch die Samen ausreifen. Die Ausbeute an guter Faser ist in diesem Zustande die beste und reichhaltigste. Auf dem Riffelkamm erfolgt sodann ein Abstreifen der Blätter, Verästelungen und Samenknoten. Die Zähne des Kammes bestehen aus etwa 25—35 cm hohen kräftigen Zinken, die etwa 2—2,5 mm Abstand haben. In 10 Stunden riffelt oder refft ein Arbeiter etwa 200—300 kg Flachsstengel. Auch mit Reffmaschinen sind Versuche gemacht worden.

Der so erhaltene Rohflachs (Flachsstroh) enthält ungefähr 20—28 % Bast, dieser wieder etwa 55—60 % reines Fasermaterial. Holz, Rinde und Mark betragen also 80—72 %.

Gewinnungsarbeiten: a) chemischer Teil, das Rotten oder Rösten.

Natürliche Rotteverfahren: 1. Kaltwasserrotte; 2. Tau- oder Feldrotte (Rasenrotte); 3. Gemischte Rotte.

Bei der Kaltwasserrotte werden die Stengel, zu Bündeln vereinigt, in langsam fließendem Wasser oder in Gruben mit stehendem Wasser 2—4 Wochen durch Beschwerung unter dem Wasserspiegel gehalten. Die Gärungsvorgänge, die sich hierbei abspielen, zerstören den Splint, und gezogene Proben, die man von Hand untersucht, lassen den Zeitpunkt erkennen, an welchem der Prozeß zu unterbrechen ist. Bei der Taurotte werden die Stengel auf dem Felde ausgebreitet, und die Gärung erfolgt unter dem Einfluß von Regen, Tau usw. Es ist wichtig, daß die Stengel hierbei mehrmals gewendet werden, damit die Röste eine allseitige ist. Diese Methode erfordert demnach eine größere Sorgfalt als die erste, und obzwar das Resultat hinsichtlich der Güte der Faser — sie wird schonender behandelt — besser ist, zieht die Industrie heute doch den wassergerösteten Flachs vor, weil der Landwirt im allgemeinen nicht mehr so sorgsam auf dem Felde rottet wie ehedem. Die Taurotte

erfordert etwa 3—6 Wochen. Bei der gemischten Rotte wird im Wasser vor- und auf dem Felde fertiggeröstet, wodurch man etwas an Zeit gewinnt und durch die Aussetzung des Materials auf dem Felde eine hellere Farbe erzielt, weil die Bestrahlung eine leichte Bleichung vollzieht.

Es ist keine Frage, daß die Schwierigkeiten der Flachsaufbereitung die Landwirtschaft am Flachsbau behindern und Schuld daran tragen, daß der Anbau in vielen Gegenden zurückgegangen ist. Dem sollen die künstlichen Rotteverfahren begegnen, doch wird hierbei oft die Faser durch zu energische Einwirkung geschädigt. Man unterscheidet: 1. die Warmwasserrotte; 2. die Heißwasserrotte und Dampfrotte; 3. die chemische Rotte.

Bei der Warmwasserrotte werden die Bündel in Kufen, die auf 30—35° C erwärmtes Wasser enthalten, in etwa 50—65 Stunden gerottet. Besser ist aber eine niedrigere Temperatur von 26° C, die ungefähr während 85—95 Stunden einwirken muß, weil der langsame Prozeß die Fasern mehr schont. Durch Anwendung von Heißwasser und Dampf, wobei das Material in eisernen Retorten eingeschlossen wird, kann man den Prozeß noch wesentlich verkürzen, meist aber auf Kosten der Fasergüte. Die eigentliche chemische Röste hat ihren Namen von der Anwendung von Chemikalien (Schwefelsäure usw.), die den Vorgang auf wenige Stunden beschleunigen sollen.

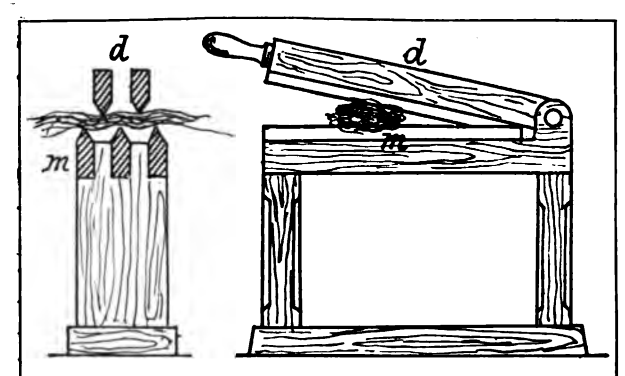


Abbildung 18 u. 19. Handbreche.

Bei der Baurschen Röste wird das Material zum Beispiel in eigenen Behältern unter Vakuum und Temperaturerhöhung (bis 110° C) mit verdünnter Schwefelsäure (1/2 %) und mit einer 1/2prozentigen Lösung von kohlensaurem Natron behandelt, worauf Spülung folgt. Der Vorgang beansprucht bis zur Durchröstung nur 4—6 Stunden (vgl. „Weitere Fortschritte in der Flachsgewinnung“ von Prof. E. Pfuhl; Riga, Verlag von N. Kymel).

Der Rottungsprozeß ist, gleichviel welche Methode angewendet wird, eine Fermentation, wobei — zum Beispiel bei der Kaltwasserrotte — eine Trübung des Wassers und das Auftreten eines aromatischen Geruches die chemischen Vorgänge ankündigen. Zugleich bilden sich durch aufsteigende Gase an der Oberfläche des Wassers Bläschen. Der Gasauftrieb kann die Bündel sogar heben, weshalb oft eine Nachbeschwerung erforderlich wird. Hört die Gasbildung auf, so ist dies als nahende Beendigung des Vorganges zu deuten, und man muß nun sehr häufig Proben entnehmen, um zu verhindern, daß der Fäulnisprozeß sich auf die Fasern ausdehnt und nicht auch die die Einzelzellen verbindende Interzellularsubstanz zerstört. Derart geschädigten Flachs bezeichnet man als „verrottet“ oder „überrottet“; er hat eine schlechte Farbe und geringe Festigkeit.

Der geröstete Flachs wird gespült und an der Sonne oder auf Flachsdarren getrocknet und ist damit fertig für b) den mechanischen Teil der Gewinnungsarbeiten. Diese sind: 1. das Brechen; 2. das Schwingen; 3. das Hecheln.

Durch das Brechen wird der Stengel vielfach geknickt, der Holzkern in kleine Stückchen zertrümmert und der Bast zum Aufplatzen gebracht. Die Handbreche (Abbildung 18 u. 19) arbeitet mit einem schwingenden Deckel d, der aus 2 Holzmes-

sern besteht, die in die Lücken des Messerrostes m der sogenannten Lade greifen und die quergelegten Flachsristen bei langsamem Vorschub oftmals knicken. Die Brechmaschine (Abbildung 20) besteht aus einer größeren Anzahl (bis 24) Riffel- oder Stahlmesserwalzenpaaren w, die mit den Riffeln ineinandergreifen und die senkrecht zur Achse einlaufenden Risten infolge der zunehmenden Riffelzahl oftmals knicken. Die Maschine liefert in 10 Stunden etwa 1000—1200 kg Bruchflachs.

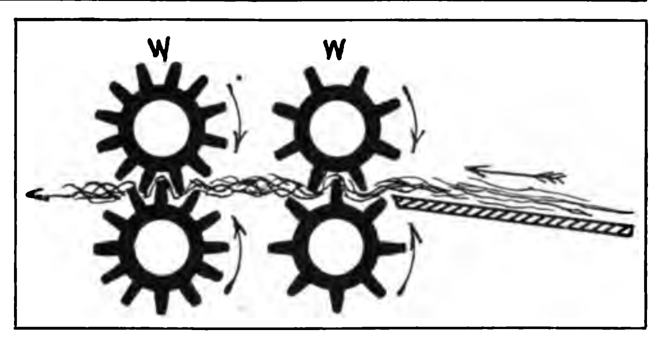


Abbildung 20. Brechmaschine.

Schon bei dem Brechen fallen viele Holzteilchen (Schäbe) aus. Dem Schwingen fällt die Aufgabe zu, die Schäbe möglichst vollkommen abzusondern, den Bast im Groben zu zerspalten und kurze verwirrte Faserbündel bzw. Bastbündel zu entfernen (Abfall, Gewirre, Gewerre, Werg, Hede). Der Handschwingstock (Abbildung 21, 22 u. 23) besteht aus einem vertikalen Ständer A, der einen Schlitz m besitzt, in den die Riste eingeschoben wird, so daß sie auf der einen Seite hervorragt und auf der anderen vom Arbeiter gehalten werden kann. Mit einem beilartigen hölzernen Werkzeug B (Schwingbeil) schlägt der Arbeiter nach I abwärts über die Riste, wobei das Beil von einem Fangseil e aufgefangen wird. Der Schlag reißt die Holzteilchen heraus und spaltet den Bast. Nach Umkehrung erfolgt die Bearbeitung der anderen Hälfte der Riste. Auch abgerissene Faserteile werden als Werg durch diese Arbeit abgetrennt. Die Schwingmaschine (Abbild. 24) ahmt die Handschwingerei nach; sie besteht aus einer Welle mit 4—5 radial gestellten Armen, welche die Schwingbeile B tragen, die an dem Schwingstock A, dessen Ristenplatte behufs Schonung der Fasern gewöhnlich federnd gelagert ist, vorbeirotieren. Statt der beilartigen Schwingwerkzeuge können auch breite Schlagmesser angewandt werden, wodurch sich an derselben Maschine mehrere Arbeitsstellen unterbringen lassen. Das Schwingen wird mehrmals wiederholt (Vorschwingen, Ausschwingen oder Reinschwingen). Die Wergschwinge dient für das Nachschwingen des Abfalles.

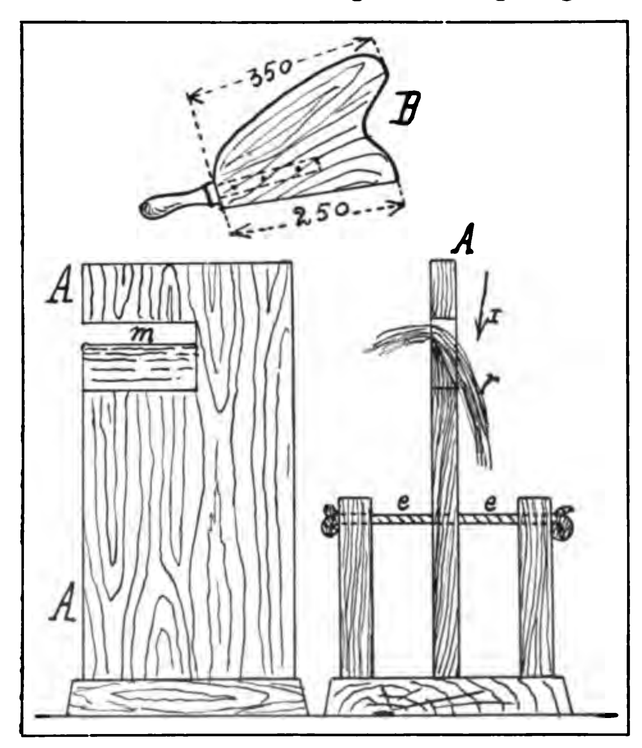


Abbildung 21, 22 u. 23. Handschwingstand mit Schwingbeil.

Auch nach dem Schwingen enthält das Material noch viele Holzteilchen

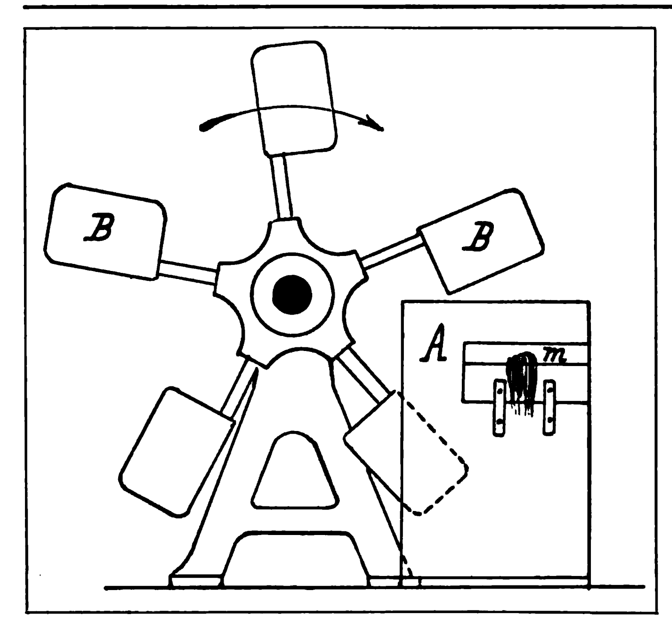


Abbildung 24. Schwingmaschine.

und kurze Fasern, namentlich aber ist die Zerspaltung des Bastes noch eine unvollkommene, die Fasern haben eine bändchenartige Form. Die Fertigstellung des Rohstoffes für den Spinnprozeß fällt dem Hecheln zu, durch das bei entsprechender Wiederholung mittelfeines und sehr feines Fasermaterial, das nun ziemlich schäbefrei ist und auch nur wenig kurze Fasern enthält, erhalten werden kann. Das Grundprinzip des Hechelns besteht im Durchziehen der Flachsristen durch schrägliegende Kammfelder, wobei vorsichtig verfahren wird, damit keine Beschädigung von guten Fasern eintritt. Mit dem Hecheln verbindet man gewöhnlich ein Absondern (Sortieren) des Flachses nach Farbe, Glanz, Weichheit und Feinheit. Die Handhechel (Abbildung 25) besteht aus einem gegen den Arbeiterstand A ansteigenden Brett b, auf welchem die Hechelnadeln N in verschiedener Feinheit des Satzes, je nachdem es sich um eine Vor-, Mittel- oder Aushechel handelt, eingesetzt sind. Der Arbeiter wirft die Spitzen der Riste fächerartig über die Nadeln und zieht, indem er einen leichten Druck auf die Riste ausübt und sie in das Hechelfeld preßt, vorsichtig nach 1 an. Unter Vorschreiten gegen die Mitte wird dies mehrmals wiederholt, dann folgt Umkehrung der Riste und Bearbeitung der anderen Hälfte. Die kurzen Fasern bleiben als Werg im Hechelkamm sitzen und werden zeitweise entfernt, die freiwerdenden Schäbeteilchen fallen aus, und der feine Staub wird durch Ventilationsrohre, in welchen ein leichter Luftstrom abziehend wirkt, abgesogen. Das Hecheln wird so oft wiederholt (z. B. bis sechsmal), als es für eine bestimmte Feinheit erforderlich ist. Die Sortierung, die mit dem Handhecheln verbunden wird, geschieht zumeist nach Farbe, Glanz, Feinheit usw. Man bedient sich dabei oft einer ansteigenden Nummerbezeichnung 1, 1—2, 2, 2—3, 3—8, wobei die Verspinnung bis zu einer zehnfach feineren Garnnummer möglich ist, also aus 3 Nr. 30, aus 5 1/2 Nr. 55 usw.

Die Hechelmaschinen (Abbildung 26) bilden, da die Spinnereien meist nur Schwingflachs oder vorgehechelten Flachs verarbeiten, eine wichtige Abteilung der Flachsspinnereien. Gewöhnlich sind zwei Maschinen parallel zueinander aufgestellt, so daß die Riste auf der ersten zuerst mit der einen Seite und nach erfolgter Umspannung auf der zweiten mit der anderen Seite gehechelt werden kann. Der Arbeits-

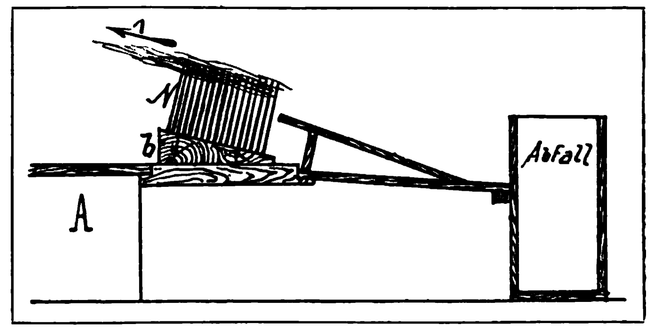


Abbildung 25. Handhechelstand.

vorgang ist folgender: Die Riste R wird in eine Klemme K (Kluppe) eingespannt, die auf Gleitschienen läuft. Letztere erhalten durch einen beweglichen Rahmen A ab- und aufsteigende Bewegung. Indem der Rahmen sich senkt, werden zuerst die Spitzen der Riste, dann fortschreitend deren gegen den Klemmpunkt liegende Teile gehechelt. Die Hechelkämme sind nicht ruhend — wie bei der Handhechel —, sondern beweglich an Metalleisten angebracht, wobei letztere zu einer endlosen, von Sternscheiben u umgeführten Kammkette E vereinigt sind. Die nach innen liegenden Seiten der Kammketten durchstreichen den langsam von oben nach unten vordringenden Stoff, wobei zwei solche Kammketten derart einander gegenüberliegend arbeiten, daß die Kämme in regelmäßigen Abständen von links und rechts eindringen. Die Riste wird nach ungefähr halber Einsenkung wieder gehoben, wandert mit der Einspannkluppe vor das nächste Hechelfeld, das feineren Nadelsatz hat, und senkt sich wieder usw. Der Vorgang wird auf einer Maschine meist 4—6mal wiederholt, worauf die Kluppe auf ihrer Bahn vor einen Arbeiterstand fällt und die Riste für die Bearbeitung auf der parallel angeordneten Maschine eingespannt wird. Bei neueren Maschinen erfolgt die Umspannung automatisch.

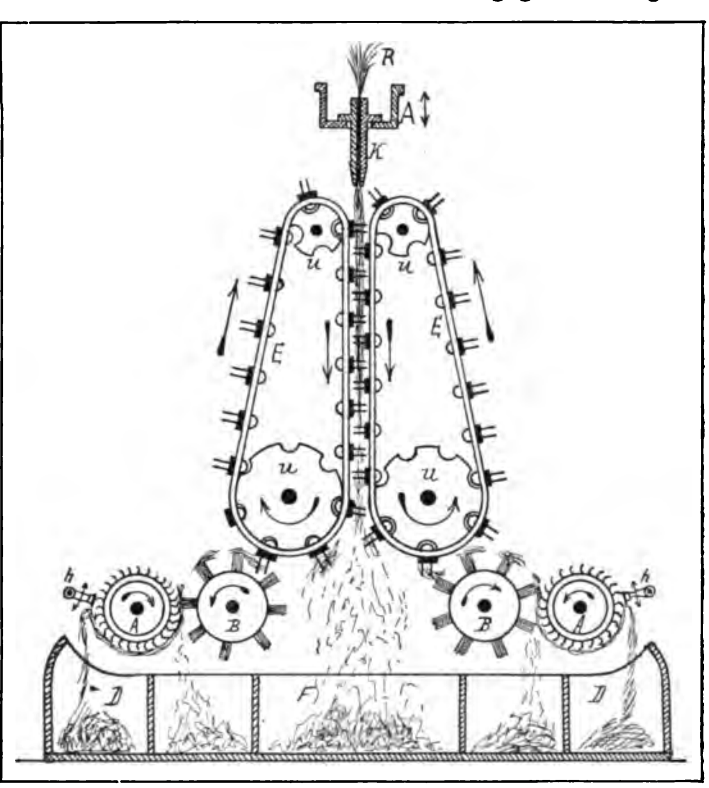


Abbildung 26. Hechelmaschine.

Die kurzen Fasern, welche mit den Kämmen gehen, werden als Werg von den Bürsten B aufgenommen und an die mit Kratzenbeschlägen versehenen Abnehmer A gegeben, von welchen Hacker h den Abfall abkämmen und in die Behälter D fallen lassen. Die bei der Hechelung freiwerdenden Schäbeteilchen fallen in den Kasten F. Abfallkasten G nimmt die zufällig bei der Übertragung von B auf A abfallenden Fasern auf.

Nach dem Hecheln können mit dem Flachs noch sogenannte Veredelungsarbeiten vorgenommen werden, wenn es sich darum handelt, eine besonders gute Qualität zu erzielen. Es sind dies: 1. das Ribben mit einem stumpfen Stahlmesser auf einem Lederpolster; die Riste wird gestrichen und geschmeidig, glätter gemacht, Schäbeteilchen werden abgesondert; 2. das Risten, indem man die Riste über eine stumpfe Metallkante hin und her zieht und geschmeidiger macht; 3. das Klopfen, wobei man den Flachs mit einem Holzschlägel auf einer Holzplatte klopft und weicher macht; 4. das Kochen in alkalischer Lösung, wodurch der Pflanzenleim erweicht und eine weitergehende Zerspaltung ermöglicht wird; 5. das Bürsten, d. i. ein Ausstreichen der

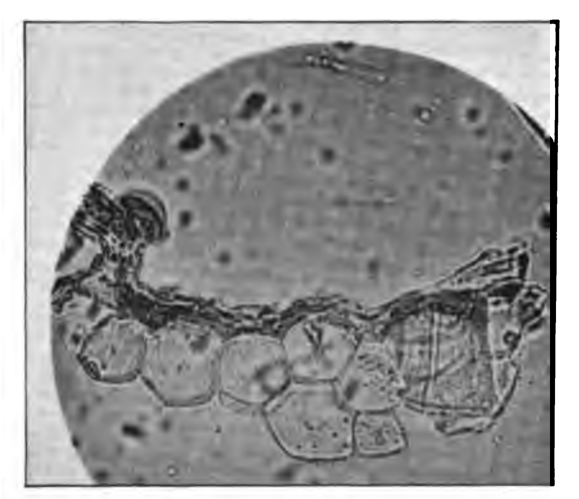


Abbildung 27. Schnitt durch eine Flachsfaser.

Risten mit steifen Bürsten auf einer Holzplatte.

Der Flachs hat eine Länge bis 900 mm, im Mittel 500 mm, unter 300 mm selten. Die Risten sollen an den Enden nicht zu dünn sein, weil das auf sehr ungleiche Fasern hindeutet. Schneidet man die Faser quer durch, so ergeben sich im mikroskopischen Bild (Abbildung 27) polygonale Figuren, die unregelmäßig nebeneinander angeordnet sind und durch eine kräftige Linie getrennt erscheinen, durch die der verbindende Pflanzenleim angedeutet ist. Jedes Polygon stellt eine Einzelzelle dar, in deren Mitte ein feines rundes Lumen, das mit Zellstoff ausgefüllt ist, deutlich erkannt werden kann. Die verschiedene Größe der Vielecke ist daraus zu erklären, daß der Schnitt die nach beiden Enden spindelförmig zulaufenden Zellen an verschieden dicken Stellen trifft. Die Dicke der Einzelzelle schwankt zwischen 0,001 bis 0,032 mm, ihre Länge zwischen 20—40 mm, während die Dicke der Spinnfaser zwischen 0,016—0,23 mm schwankt. Durch Behandlung in Chromsäure oder in erhitzter Kalilauge kann man die Einzelzellen trennen. Für die Bastzelle des Flachses ist es charakteristisch, daß das Ende spindelförmig spitz zuläuft (Abbildung 28). Schlecht bearbeitete und nicht genügend gereinigte Flachssorten zeigen Reste der Parenchym- und Oberhautzellen sowie des Holzgewebes. In heißem Wasser erweicht der verbindende Pflanzenleim, und die Einzelzellen können gegeneinander verschoben werden. Hierauf beruht das Verziehen beim Naßspinnen, bei dem das Vorgespinst durch heißes Wasser gezogen und der Pflanzenleim erweicht wird, so daß ohne Zerreißung der Fasern ein Gleiten der Urzellen eintritt und ein Gespinst von höherer Feinheit und äußerer Glätte erzielt werden kann. Die Einzelzelle hat im mikroskopischen Bild (Abbildung 29) außer dem feinen Lumen eine geradegestreckte, starre, nicht gekräuselte äußere Form mit eigentümlichen Querverschiebungen und Knotenbildungen, die dadurch entstehen, daß während des Wachstums die Zellenden auf die nebenliegenden Zellen drücken und ein seitliches Ausweichen derselben verursachen. Die Zellbündelfaser zeigt mikroskopisch deutliche Längsstruktur und besitzt weniger Elastizität als Baumwolle. Im lufttrockenen Zustande enthält die Faser 5 1/2—7 1/2 % Wasser, durch Dämpfen mit Wasserdampf steigt der Wassergehalt auf 22—24 %. Die Faser besteht wie Baumwolle aus reiner Zellulose, ihr spezifisches Gewicht ist 1,5. In Jod und Schwefelsäure nimmt die Faser blaue Färbung an, in Kupferoxydammoniak tritt zunächst Blaufärbung und dann vollständige Auflösung ein. Schwefelsaures Anilin bringt keine Färbung hervor. Ist der Flachs schlecht geröstet und gehechelt und enthält er viel Parenchym- und Oberhautreste und Holzteilchen, so färbt Jod und Schwefelsäure nicht blau, sondern gelb und braun.

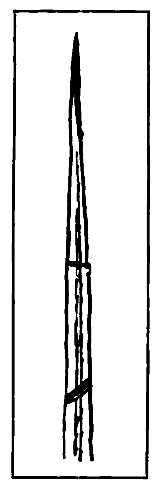


Abbildung 28. Spitze der Einzelzelle des Flachses.

Guter Flachs hat hellblonde, graue (silbergraue, stahlgraue) oder grünliche Färbung. Braune oder schmutziggrüne Färbung zeugen von Über-

rottung. Weichheit und Milde der Faser sind sehr erwünscht. Die jährlich verarbeitete Flachsmenge kann auf etwa 550 Millionen kg geschätzt werden.

6. Hanf (engl. hemp; franz. chanvre). Die Hanfpflanze (cannabis sativa) stammt aus Asien und ist zweihäusig, d. h. die männlichen und weiblichen Blüten entwickeln sich nur auf verschiedenen Pflanzen. Die weiblichen Pflanzen erreichen eine größere Höhe als die männlichen und sind kräftiger. Der Hanf hat ungefähr dieselben Lebensbedingungen wie der Flachs, doch sagt ihm ein wärmeres, feuchteres Klima besser zu. Er wird in der gemäßigten Zone überall angebaut, in Italien und Spanien erreichen die Pflanzen indessen eine größere Höhe als in Österreich und Deutschland. Die Pflanze ist einjährig und wird 1,7—2,4 m groß, die Saat erfolgt im Mai, die Ernte der männlichen Pflanzen im August, die der weiblichen Ende September. Die Stengel werden bei Gelbwerden der Spitze ausgerauft und in Bündeln auf dem Felde einer kurzen Nachreife ausgesetzt, d. h. nur der weibliche, der männliche gelangt schon einen Tag nach dem Raufen in die Reffung, die wie bei Flachs behufs Entfernung der Blätter, Verästelungen und Samen vorgenommen wird. Die Gewinnungsarbeiten zerfallen wieder in 1. den chemischen Teil oder das Rösten (Rotten) und 2. den mechanischen Teil. Das Rotten erfolgt in der Hauptsache wie bei Flachs. Die mechanische Aufbereitung unterscheidet sich jedoch in einigen Punkten von der des Flachses und zerfällt in: 1. das Brechen; 2. das Boken und Reiben; 3. das Stoßen und 4. das Hecheln. Das Brechen oder Knicken erfolgt mit ähnlichen Vorrichtungen von Hand oder auf der Maschine mit demselben Endzweck wie bei Flachs. Der so gewonnene Knickhanf oder Basthanf kann nun, wie das zum Beispiel mit dem Königsberger Hanf geschieht, vor- und reingeschwungen werden wie Flachs, oder er wird auf einer Bok- oder Reibmühle einem Stampf- und Quetschprozeß unterworfen. Die Hanfstampfe bearbeitet das Material mit Holzstampfen, die nach Hebung durch eine Daumenwelle durch ihr Gewicht auf die Hanfristen fallen und diese weicher und geschmeidiger machen. Die Reibmühlen bestehen aus schweren konischen Steinen, die im Kreise über einen aus hirnseitig gestellten Holzklötzen gebildeten Tisch rollen und durch ihr Gewicht und die Geschwindigkeitsdifferenzen an ihrem Umfange das Material quetschen und reiben, wodurch es weicher wird. Dem Reiben geht das Schlenzen voraus, wobei der Arbeiter die 1,5—2 m langen Hanfristen peitschenartig nach außen wirft (schlenzt), um sie zu lösen und die Schäbe etwas abzuschleudern. Das Stoßen hat den Zweck, die für den Spinnprozeß viel zu lange Faser (1—1 3/4 m) zu kürzen. Dies darf aber nicht unter Bildung scharfer

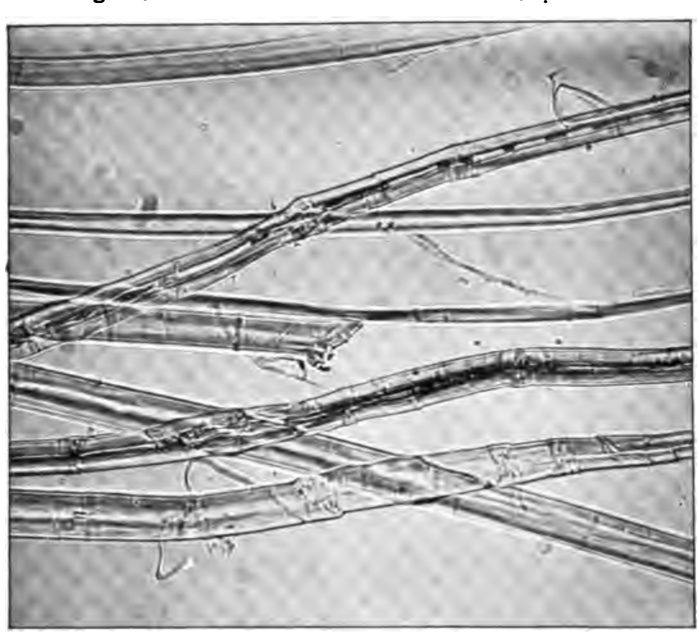


Abbildung 29. Einzelzellen des Flachses.

Schnittzellen geschehen. Man wendet deshalb eine Stiftreißmaschine an, bei welcher eine mit runden Stiften besetzte Scheibe durch die in Keilscheiben geklemmten Risten hindurchreißt. Der geriebene Hanf wird „Reinhanf" genannt. Unter Schleißhanf oder „Pellhanf" versteht man eine Sorte, deren Gewinnung durch Abschälung des Bastes von Hand erfolgt. Dieser Hanf ist fast schäbefrei, seine Gewinnung wurde früher in Baden vielfach betrieben, ist aber ziemlich teuer.

Der Hechelprozeß spielt sich bei dem Hanf ähnlich wie bei Flachs ab, nur wird nicht derselbe hohe Feinheitsgrad angestrebt. Auch ein Klopfen und Ribben ist üblich behufs Erhöhung der Weichheit. 100 kg frisch geraufte Hanfstengel, die von den Wurzeln befreit sind, geben 30—45 kg gerösteten und getrockneten und etwa 9—15 kg Reinhanf (geriebenen Hanf).

Der Hanf ist als Spinnfaser wie der Flachs ein Gefäßbündel, dessen Einzelzellen durch eine Interzellularsubstanz verbunden sind. Durch Chromsäure oder erwärmte Alkalien kann die Einzelzelle abgespalten werden, die 15—28 mm lang und 0,015—0,026 mm dick ist und ein Lumen hat. Die Einzelzelle läuft jedoch nicht spitz (spindelförmig) zu, sondern sie ist stumpf, mitunter keulenförmig verdickt, oft auch verästelt (Abbildung 30). Dies Merkmal bietet eine gute Handhabe zur Unterscheidung von Flachs, ebenso auch die Querschnittsform der Polygonalzellen. Letztere sind nicht wie bei Flachs scharf umgrenzt, sondern mehr stumpfeckig und länglich, undeutlicher, das Lumen ist spaltförmig statt klein und rund, die gelbe Linie der verbindenden Substanz stärker (Abbildung 31). Die knotenartigen Querverschiebungen des Längsbildes sind wie bei Flachs vorhanden (Abbildung 29). Die Faser besteht aus Zellulose und hat das spezifische Gewicht 1,5; sie ist ziemlich hygroskopisch und nimmt bis 30 % Feuchtigkeit auf, zulässig sind 12 % vom absoluten Trockengewicht. Der Hanf hat die gute Eigenschaft, daß er gegen Nässe ziemlich widerstandsfähig ist und unter Wasser nicht rasch verfault. Die Farbe ist meist weißgelblich, grau, aber auch grünlich. Die Verwendung ist eine vielseitige (etwa 350 Millionen kg jährlich). An erster Stelle steht die zu Schnüren, Bindfaden, Seilen usw., sodann zu Segeltüchern, Zelttüchern, Gurten, Schläuchen, Teppichen usw. Für Wäsche ist Hanf wegen seiner Grobheit und Härte unbrauchbar. In der Bindfadenfabrikation muß das fertige Produkt behufs Herstellung einer glatten Oberfläche poliert werden.

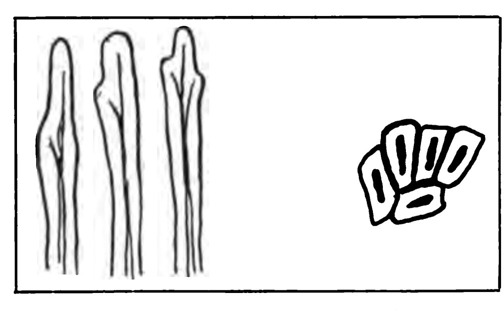


Abbildung 30. Spitze der Einzelzelle des Hanfes.

Abbildung 31. Schnitt durch eine Hanffaser.

7. Jute (Kalkuttahanf, jute, paut-hemp). Die Pflanze zählt zu den Chorchorusarten (Gemüselinden), und die Spinnfaser wird hauptsächlich von zwei Gattungen, der Chorchorus olitarus und Chorchorus capsularis, zumeist von der letzteren, in Britisch-Indien gewonnen. Die Hauptpflanzstätte ist Bengalen, wo die Pflanze pat oder paut genannt wird, während man das aus der Faser gewonnene Tuch als chotte oder choti — daher Jute — bezeichnet. Neuerdings wird die Pflanze auch in China, Japan, Algier, Brasilien, Nordamerika und Australien gezogen. Auch die deutschen Kolonien (Togo, Kamerun, Ostafrika) haben die Kultur der Jute aufgenommen, doch ist die Entwicklung noch im Anfangsstadium begriffen. Als Spinnstoff wird die Jute in Dundee seit 1824 verarbeitet, seit 1832 ebendort mit Erfolg. Sie wurde zuerst mit Flachs gemischt. 1851 wurden von Kalkutta 29120 Tonnen exportiert, heute

200000 Tonnen jährlich. Den größten jährlichen Konsum an Jute hat Indien mit etwa 4¼ Millionen Ballen, dann kommt Großbritannien und an dritter Stelle Deutschland mit etwa 800000 Ballen (im Jahre 1906). Ein Ballen wiegt 180—185 kg. In Indien werden die Blätter und Früchte (Schoten) der Pflanze auch als Nahrungsmittel verwendet. Die Reife ist drei Monate nach der Aussaat (März bis Juni) erreicht, wobei die Pflanze 3—5 m Höhe besitzt. Gewöhnlich schneidet man die etwa 25 mm dicken Stengel mit der Sichel ab, seltener werden sie ausgerauft. Nach Entfernung der Blätter und Verästelungen erfolgt 8—10tägiges Rotten in langsam fließendem Wasser, darauf Abschälen des Bastes von Hand. Brechen und Schwingen ist hier wegen der großen Holzmasse unausführbar. Den Bast spült man in reinem Wasser und trocknet ihn dann an der Luft. Die rasche Rottung ist nur durch die hohe Temperatur der Atmosphäre in den Tropen möglich. Der abgeschälte Bast ist faserähnlich und handelsfertig. Die Verschiffung erfolgt in Kalkutta (daher auch Kalkuttahanf). Die dunkelfarbigen harten Wurzelenden werden als minderwertig abgetrennt (cuttings) und für sich gewertet. Die Abstufung nach der Güte erfolgt in Indien nach folgender Skala (abwärts): Serajgunge, Nerajgunge, Ducca, Daisee, Dowrah, Rejections (ausgeschiedene Teile der vorangehenden besseren Sorten) und Cuttings. Die Kalkuttahändler benutzen eine Klassierung mit Bezeichnungen, die ähnlich wie bei Baumwolle mit fine, good usw. gewählt sind. Die Gesamtproduktion in Indien wurde im Jahre 1908 auf 10 Millionen Ballen geschätzt, der Wert der in Deutschland importierten Jute bezifferte sich 1906 auf 70 Millionen Mark.

Im Jahre 1906 war (nach P. Sharp, Flax, tow and jute spinning) der Jutekonsum annähernd folgender:

Schottland	1150000	Ballen
England	40000	„
Irland	20000	„
Frankreich	475000	„
Belgien	120000	„
Deutschland	750000	„
Österreich	262000	„
Norwegen und Schweden	62000	„
Rußland	180000	„
Holland	25000	„
Spanien	90000	„
Italien	160000	„
Amerika	550000	„
Indien	4200000	„

Die Handelsjute ist, was schon aus der umfangreichen Klassenskala hervorgeht, sehr verschieden in ihrer Beschaffenheit (Farbe, Glanz, Weichheit, Teilbarkeit, Feinheit, Festigkeit, Reinheit und Länge). Die guten Gattungen haben helle Farbe, weißgelblich, seltener grau. Der Glanz bildet ein sicheres Kennzeichen der Güte. Dunkle Sorten sind schlechter. Lang lagernde Jute verliert an Güte und Festigkeit; ist sie dabei der Feuchtigkeit ausgesetzt, so zerfällt sie. Die Verholzung der Faser ist im Vergleich zu Flachs und Hanf sehr groß, weshalb sie an der Luft unter Einwirkung des Lichtes, der Wärme und Feuchtigkeit nachrottet, dunkel wird und an Festigkeit bis zum Zerfall abnimmt. Dies wird noch begünstigt durch die Kürze der Elementarzellen, die nur 1—5 mm lang sind (Flachs z. B. 20—40 mm, Hanf bis 25 mm). Die

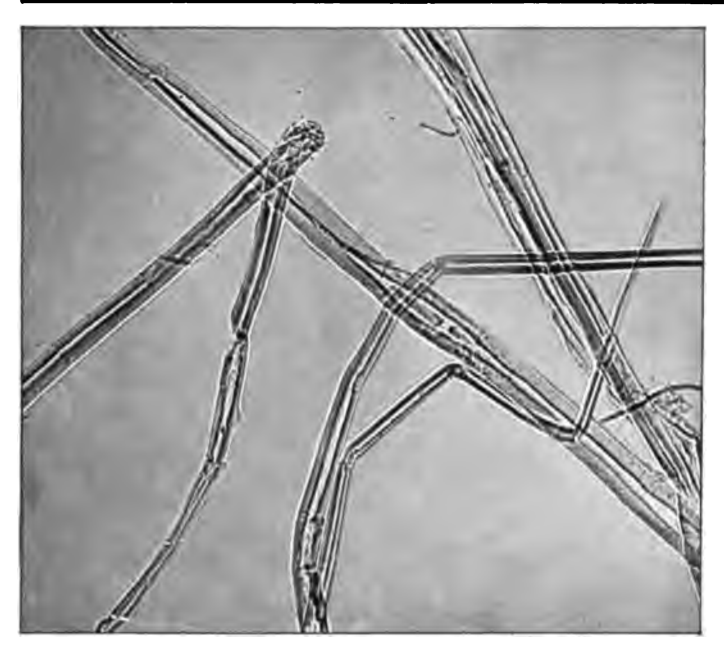


Abbildung 32. Einzelzellen der Jute.

Länge der Spinnfaser beträgt 2—3 m und sogar 4 m, die Feinheit 0,015—0,036 mm, die Feuchtigkeitsaufnahme kann bis 26 % steigen, zulässig sind 14 %. Bemerkenswert und für die Jute besonders charakteristisch ist die Ungleichheit des Lumens (Abbild. 32 u. 32a), letzteres zeigt stellenweise Verengungen, durch welche der Hohlraum fast ganz geschlossen erscheint. Infolge der starken Verholzung wird die Jutefaser durch schwefelsaure Anilinlösung intensiv gelb, durch Phloroglucin rot gefärbt. Hanf dagegen nimmt von der ersten nur leicht gelbliche, von letzterer schwach rötliche Farbe an. Flachs bleibt in beiden Fällen ungefärbt. Jute ist durch Natriumhypochlorit gut zu bleichen, auch läßt sie sich in lebhaften Farben färben.

Für das Spinnen muß die Jutefaser wegen ihrer Steifigkeit und Verholzung durch Batschen und Quetschen schlüpfriger und geschmeidiger gemacht werden. Beim Batschen werden die Risten mit Wasser und dann mit Tran besprengt. Nach mehrtägigem Lagern hat die Faser durch Aufsaugung die gewünschte Geschmeidigkeit erreicht. Das Quetschen erfolgt in Riffelwalzenmaschinen, die die Faser beim Durchlauf zwischen Walzen quetschen und drücken und so durch oftmalige Beugungen weicher machen.

Die Verwendung der Jute ist eine sehr vielseitige geworden. Sie wird zu Möbelstoffen, Vorhangstoffen, Decken, Teppichen, Matten, Packleinwand usw. verwendet. Für Transmissionsseile eignet sie sich weniger wegen ihrer geringeren Luftbeständigkeit, jedoch zu allen Arten Schnüren. Auch für grobe und geringere Papiere findet sie Anwendung (vgl. „Die Jute und ihre Verarbeitung" von Prof. E. Pfuhl, Verlag von Springer in Berlin).

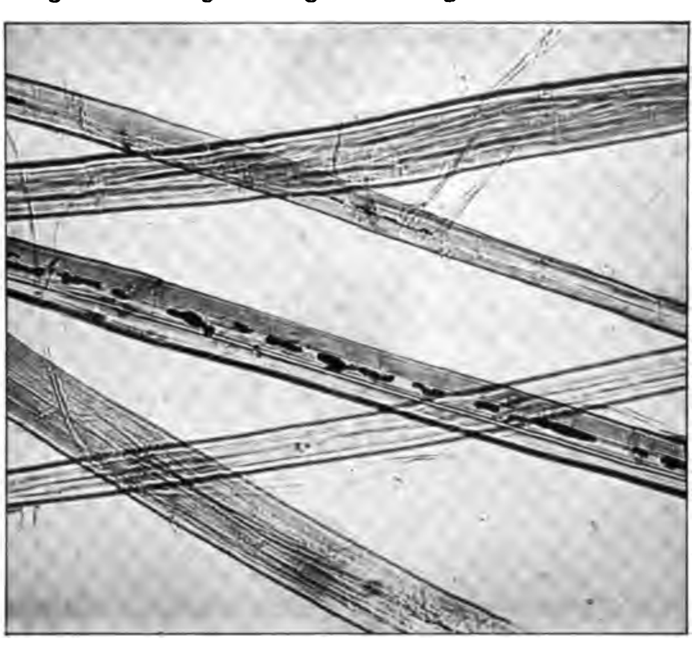
8. Nesselfaser von der gemeinen Brennessel (Urtica dioica). Dicht gesät liefert die Nessel einen wenig verästelten hohen Stengel, der eine reine Zellulosefaser enthält. Letztere ist weiß, seidenartig, sehr fein und widerstandsfähig, kühl anzufühlen und kann zu sehr feinen Gespinsten verarbeitet werden. Die Gewinnungsmethoden, welche dem Mittelalter bekannt waren, sind verloren gegangen, doch wird neuerdings wieder versucht, das Material zu kultivieren. Die Bezeichnung Nessel für feine Baumwollgewebe kommt vom echten Nesseltuch.



Abbildung 32a. Einzelzelle der Jute mit auffallenden Verengungen des Lumens.

9. Ramie (Chinagras, Boehmeria nivea) ist eine der ge-

wöhnlichen Brennessel sehr ähnliche Nesselgattung, doch besitzt sie keine Brennhaare und wächst höher (2 m). Die Anpflanzungen werden durch Wurzelschößlinge hergestellt, die nach Erreichung der Erntehöhe abgeschnitten werden und sofort von neuem emportreiben, so daß bis zu vier Ernten jährlich gewonnen werden können. Die Stengelreife fällt mit der Blüte zusammen. Der Stengel ist etwa 15—20 mm dick und 1—2 m lang. Nach dem Abschneiden dicht über dem Boden folgt die Entholzung, welche ziemlich schwierig ist und in erster Linie die weitere Verbreitung dieser wertvollen Textilfaser behindert hat. Das Rösten nach gewöhnlicher Methode greift die Faser zu sehr an und ist nicht anwendbar. Von dem getrockneten Stengel läßt sich der Bast fast überhaupt nicht mehr ablösen, die Entholzung (Degummierung) kann mit Vorteil nur vom frischen grünen Stengel erfolgen. Dies geschieht von Hand oder mit Maschine; ersteres ist umständlich und zeitraubend, für letzteres bestehen einige Einrichtungen, die aber ziemlich teuer arbeiten. Für die Zerlegung ist auch das Wasser und seine Beschaffenheit von Bedeutung. Die Einzelfaser ist bändchenartig (Abbildung 33), breit nach einer und schmal nach der anderen Seite, das Lumen ist sehr breit und mit Zellstoffresten erfüllt, die Zellwand dünn. Die Faser ist weiß und bedarf nur geringer Bleichung; sie besteht aus reiner Zellulose und hat beträchtlichen Glanz. Die Meinung, die Faser, welche auch sehr widerstandsfähig ist, könne zum Beispiel Baumwolle ersetzen, ist nicht zutreffend, auch nicht, wenn sie cotonisiert und etwas geschmeidiger gemacht wird. Alle Stoffe aus Ramie besitzen eine wesentlich größere Härte als Baumwollgewebe. Dagegen ist die Ramie für alle Arten Effektgewebe, Besatzstoffe, Tischwäsche usw. ausgezeichnet geeignet.


Abbildung 33. Einzelzelle der Ramiefaser.

10. Sunnhanf stammt von der ostindischen Klapperschote (Crotalaria juncea), die Meterhöhe erreicht, einjährig ist, geschnitten, gebrochen und gehechelt wird. Die 500 mm lange Faser ist aus Einzelzellen von 4—12 (im Mittel 7—8) mm Länge und etwa 0,03 mm Dicke aufgebaut. Mikroskopisch gleicht das Längsbild fast vollständig dem des Hanfes, die Spitzen sind keulenförmig verdickt, Querknoten sind vorhanden, und das Lumen verläuft auch ähnlich. Der Querschnitt zeigt indessen ein schlauchartiges Lumen, das offen und nicht linienartig ist, auch lösen sich die äußeren Membranschichten stellenweise von den inneren ab (vgl. v. Höhnel, „Mikroskopie der technisch verwerteten Faserstoffe"). Sunnhanf wird für grobe Schnüre, Packleinwand usw. verwendet.

11. Gambohanf stammt von der ostindischen Hibiscus cannabinus und ist nach v. Höhnel der Jute sehr ähnlich, insbesondere auch im Bau; so ist vornehmlich das

Lumen oft bis zur Unterbrechung verengt. Vermischung mit Hanf kommt vor, desgleichen mit Werg.

12. Hopfenfaser. Diese Faser ist wegen ihrer Anwendung in der Papierfabrikation erwähnenswert. Die Fasern bestehen aus reiner Zellulose und aus Elementarzellen von 10 mm Länge und durchschnittlich 0,016 mm Dicke.

13. Die Faser des Papiermaulbeerbaumes. Diese Faser hat Bedeutung für die Papierfabrikation, namentlich für starke Papiere. Die Elementarfaser ist 5—16 und maximal bis 25 mm lang und nach v. Höhnel 0,035 mm dick. Doch sind zweierlei Gattungen der Dicke nach zu unterscheiden, stärkere und dünnere, wie auch die Struktur verschieden ist und manche Fasern glatt, flach und bandförmig und andere wieder ähnlich wie Baumwolle gedreht sind. Es ist wahrscheinlich, daß die Chinesen, welche die ersten waren, die durch Faserverfilzung Papier erzeugten, die Rinde des Maulbeerbaumes schälten und durch Röstung aus ihr die Bastfaser gewannen, die ihnen dann zur Papierbereitung diente. Die echten Papiere werden in China nur durch die Hand fabriziert.

14. Die Ginsterfaser ist ebenfalls für die Papierbereitung geeignet. Sie stammt vom Besenginster und hat 2—10 mm, im Mittel 5—6 mm lange Fasern (nach v. Höhnel), die 0,015 mm dick sind.

15. Die Typhafaser stammt aus dem Stengel des Rohrkolbens. Sie steht zwischen Jute und Hanf und könnte, da sie auch weniger verholzt ist als Jute, als teilweiser Ersatz für diese in Betracht kommen.

16. Die Kosmosfaser wird als „Kunstwolle" (laine artificielle) von v. Höhnel erwähnt und ist nicht zu verwechseln mit der durch Zerreißen von Wollgeweben gewonnenen tierischen Kunstwolle (Shoddy, Mungo). Die Faser ist eigentlich nur ein Gemengsel von Flachs, Hanf und Juteabfällen (Wergabfällen), auch andere Stengelfaserabfälle kommen vor. Das Material wird durch die Gewinnungsarbeiten kurzfaserig. Die Verwendung beschränkt sich auf minderwertige Gewebe.

C) BLATTFASERN (monokotyle Fasern). 17. Neuseeländischer Flachs entstammt den Blättern der Flachslilie (Phormium tenax). Die Pflanze wird auf Neuseeland namentlich im Küstengebiet angebaut, erreicht eine Höhe bis 2 m und hat sehr lange Blätter (1,5—2 m) von 70 mm Breite. Die zähen Fasern dieser Blätter können, solange das Blattfleisch noch grün und weich ist, durch Schaben, Spülen und Hecheln ohne Schwierigkeit gewonnen werden. Die Faser ist ziemlich verholzt und infolgedessen härter als Flachs und Hanf. Gegen Fäulnis ist sie besonders widerstandsfähig, weshalb sie sich vornehmlich für Segeltuch, Schiffstaue usw. eignet. Die technische Faser hat eine Länge von 0,9—1,2 m. Die Ausfuhr hat in den letzten Jahren zugenommen, da die Fasergewinnung verbessert wurde.

18. Manilahanf. Die Pflanze, welche diese Faser liefert, gehört zu den Bananengewächsen und wird vornehmlich von der Musa textilis (Klasse der Gewürzlilien) gewonnen. Ihr Anbau ist auf den Philippinen und im Indischen Archipel weit verbreitet, wo sie die bedeutendste Faserpflanze ist. Der Stamm wird aus Wurzelschößlingen gezogen, die nach dreijährigem Wachstum so weit entwickelt sind, daß die Stämme zum erstenmal geschnitten werden können. Der Stamm erreicht 30 cm Durchmesser und wird in der Regel zweimal jährlich umgelegt. Die Faser liegt in den Blattscheiden, welche den Stamm — ähnlich wie bei einer Palme — einhüllen; sie liegt in der äußeren Blatthaut, die zunächst abgetrennt und von den fleischigen Partien durch Schaben mit einer Art Messer befreit wird, so daß die Fasern freizuliegen kommen. Der Prozeß ist umständlich und ergibt viel Verluste. In neuerer

Zeit werden Entfaserungsmaschinen (Défibreure) angewendet. Nach einem anderen Verfahren werden die ganzen Stämme nach dem Fällen im Freien zu leichter Fäulnis gebracht, dann in Stampfen gequetscht, wobei durchspülendes Wasser das gerottete Blattfleisch wegnimmt. Nach Reinspülung und Trocknung vollendet eine Art Grobhecheln die Zerfaserung. Die Faser ist sehr stark verholzt und sieht als Zellbündel dem gewöhnlichen Hanf sehr ähnlich. Die Elementarzelle ist etwa 6—7 mm lang und 0,025 mm dick, hat ziemlich breites Lumen und spitze Enden. Der Querschnitt ist vieleckig, die Ecken sind aber zum Teil völlig abgerundet, der Hohlraum tritt lochartig hervor. Die Bündelfaser (technische Faser) ist 1—2 m lang und von hellgelblicher Farbe, der Glanz ist bei einzelnen Sorten bemerkenswert. Das Material ist sehr wetterbeständig und spezifisch leichter als gewöhnlicher Hanf, daher für Seile vortrefflich geeignet. In Deutsch-Ostafrika sind einige Pflanzungsversuche mit Musa ensete, die der Musa textilis verwandt ist, gemacht worden und versprechen Erfolg. Die Produktion auf den Philippinen beträgt jährlich etwa 130000 t.

19. Sanseveriafaser ist eine der Aloefaser ähnliche Fasergattung. Die Pflanzen gedeihen wild im Dornbusch und kommen in den Tropen, so in Deutsch-Ostafrika, ohne Pflege sehr gut fort. Die dicken fleischigen Blätter geben nur 2—3 % Fasermaterial, was wegen des Transportes der großen Gewichtsmengen an Abfall nachteilig ist, dagegen sind die geringe Mühe, die die Pflanze sonst macht, und die Unempfindlichkeit der Blätter, die längere Zeit ohne Schaden lagern können, sehr günstig. Die Blätter werden gespalten, maschinell zerfasert, gewaschen und gespült. Die Farbe der Faser ist hellgelblich.

20. Ananasfaser (Ananashanf), namentlich von der Bromelia Ananas (silk grass), aus den Blättern der Ananas gewonnene feine Blattfaser, 1 m lang, weißgelblich; die Elementarzelle ist wenig verholzt, das Lumen ist sehr fein.

21. Alphafaser (Espartofaser), von afrikanischen Gräsern (Wüstengräser), durch Zerreißen auf Wölfen gewonnen. Die Faser hat insbesondere Bedeutung für die Papierfabrikation, die ihre Verwertung in steigendem Umfange aufnimmt.

22. Aloehanf (Mauritiushanf), vornehmlich aus den Blättern von Aloë perfoliata gewonnen. Die Faser ist 200—500 mm lang, weißlich-glänzend und geschmeidig. Die Verwendung ist dieselbe wie bei den gröberen Hanfsorten (Schnüre, grobe Einschlaggarne, Taue usw.).

23. Pitafaser (Pitahanf, Sisalhanf) von der Agave americana. Das Stammland ist Mexiko, doch ist die Pflanze in verschiedene Länder übertragen worden und wird jetzt auch in Deutsch-Ostafrika mit Erfolg gezogen, so daß der einheimische Bedarf an Sisalhanf nahezu von dieser Kolonie gedeckt werden kann. Die Pflanze wird aus Schößlingen gezogen, die Blätter müssen sofort nach dem Abschneiden auf Raspadoren genannten Maschinen zerfasert werden. Die Faserlänge ist 1—1¼ m, die Farbe blaßgelblich. Die Pitafaser ist eine Sklerenchymfaser von 7,5 mm Durchschnittslänge (als Elementarzelle) und 0,025 mm Dicke. Das Lumen ist sehr breit, ebenso sind die Enden breit ausgerundet. Der Querschnitt ist polygonal mit gerundeten Ecken, das Lumen weit, die Wandung anschließend. Die Produktion an Sisalhanf ist in Deutsch-Ostafrika sehr gestiegen und ist noch in stetem Steigen begriffen. Die Faser ist leicht und sehr fest, zu Tauen und Seilen vorzüglich geeignet, auch Pflanzenfaserbürsten werden aus ihr angefertigt.

Andere Agavearten, die für die Fasergewinnung verwertet werden, sind die Zapupe und Ixtle (beide in Mexiko gezogen). Die Erfolge sind beachtenswert.

24. Die Yuccafaser, aus den Blättern der Yucca gloriosa stammend, mit etwa 4 mm langen und nur 0,01—0,015 mm dicken Elementarzellen von scharf polygonalem Querschnitt, feinem Lumen und spitzen Enden. In der Papierfabrikation verwendet.

25. Palmenfasern aus den ineinandergewachsenen Blattscheiden einiger Palmengattungen Südamerikas und Afrikas (Piassaven). Sie sind sehr verschieden in ihrem Aufbau, je nach der Palmenart, der sie entstammen, und finden hiernach zu verschiedenen Zwecken als Stopfmaterial, vegetabilische Borsten usw. Verwendung.

26. Waldwolle kann insofern zu den Blattfasern gezählt werden, als sie aus Kiefernadeln durch Auskochen und Zerfaserung gewonnen wird. Sie wird mit Schafwolle und Baumwolle zusammen verarbeitet, hat bräunliche Farbe und läßt sich bleichen. Der sogenannte Gesundheitsflanell ist eine Mischung von Schafwolle mit Waldwolle, die ihm zugeschriebenen hygienischen Vorzüge sind jedoch praktisch nicht nachgewiesen.

D) FRUCHTFASERN. 27. Die Kokosfaser (Koirfaser) wird aus der äußeren fleischigen Umhüllung der harten Schale der Kokosnuß gewonnen. Die Gewinnung in Indien (an der Küste) und auf Ceylon erfolgt durch eine Art Rottung in Seewasser und Süßwasser (Dauer einige Monate), Abstampfen und Abspülen des erweichten Fruchtfleisches, Trocknen und Hecheln. Das Rohmaterial (Faserlänge etwa 300 mm) ist natürlich sehr verschieden, besitzt aber immer braune Färbung und ist äußerst widerstandsfähig gegen Witterungseinflüsse und mechanische Abnutzung. Die Verwendungszwecke sind hierdurch gegeben (grobe Schnüre, Stricke, Matten, Läufer, Teppiche, Fußabstreicher, Bürsten usw.).

E) VERFALLFASERN. 28. Torffaser. Diese Faser entsteht bei der Torfbildung aus den Blättern und Halmen von Riedgräsern verschiedener Art, teilweise sind auch Reste von Wurzeln, Zweigen usw. darin enthalten. Durch ein Schlemmverfahren erfolgt die Absonderung verunreinigender Bestandteile, dann folgt Reinspülen und Trocknen. Die Verarbeitung geschieht, soweit sie durchgebildet ist, auf mechanischem Wege durch Öffnen und Schlagen, Kratzen und Spinnen zu groben Fäden auf einer Art Florkrempel. Die Länge der Fasern ist sehr verschieden, die Verwendung gegenwärtig noch eine äußerst beschränkte.

II. TIERISCHE FASERSTOFFE

A) TIERHAARE UND WOLLEN. 1. Die Schafwolle nimmt seit alters unter allen Faserstoffen tierischer Abstammung die erste Stelle ein. Ihr verwandt sind die Haardecken verschiedener Ziegengattungen (Mohärwolle von der Angoraziege usw.), dann die Schafkamelwollen und andere. Die vom Schaf gelieferte Wolle überwiegt aber quantitativ alle anderen tierischen Wollen so beträchtlich, daß sie allein von einschneidender Bedeutung für die Textilindustrie ist. Für die Papierfabrikation kommen — abgesehen von ganz vereinzelten Fällen — tierische Fasern überhaupt nicht in Betracht, da sie infolge ihrer Struktur und Zusammensetzung nie ein festes, glattes Papier von dichter Beschaffenheit ergeben können.

Die Schafzucht ist uralt, doch sind es heute in erster Linie zwei Schafrassen, die für die Wollerzeugung der Welt wesentliche Bedeutung haben: die spanische Merinorasse und die englische Rasse; letztere ist im Wuchs größer und auch grobknochiger als die erste. Der Unterschied liegt jedoch hauptsächlich im Haar; die Merinos liefern ein feines, mehr oder weniger stark gekräuseltes Haar; das englische langwollige Schaf hat ein nur gewelltes, ziemlich geradegestrecktes (schlichtes) Haar. Die Eigenschaften des Materials hängen jedoch in hohem Maße vom Klima und vom Futter

ab, so daß die Verpflanzung einer bestimmten Rasse in ein anderes Land sofort eine sehr wesentliche Veränderung der Faserbeschaffenheit zur Folge zu haben pflegt. Man unterscheidet: 1. Höhen- oder Landschafe: a) das deutsche Landschaf; b) das spanische oder Merinoschaf; c) veredelte Schafe, die durch die Kreuzung der Landschafe mit Merinowiddern entstanden sind. Die Veredelung ergibt nach einigen Generationen ein der Merinowolle gleichartiges Produkt, doch tritt sehr rasch wieder eine Verschlechterung des Materials ein, wenn die Züchtung nicht mit echten Merinowiddern fortgesetzt wird. Die „veredelten Schafe" sind die Wollproduzenten, der größte Teil der Handelswolle stammt von ihnen. Die Wollen der durch Merinos veredelten Landrassen sind wie die der Merinos die besten und feinsten, doch sind sie, wie schon bemerkt wurde, stark gekräuselt und müssen, wenn sie für Kammgarne Verwendung finden sollen, durch Plätten geglättet werden, damit sie ein glattes Gespinst liefern. 2. Niederungsschafe: a) das langwollige englische und schottische Schaf (Cheviotschaf); b) das Marschschaf (in den Marschen Norddeutschlands); c) das Heideschaf in der Lüneburger Heide; d) das ungarische Zackelschaf.



Abbildung 34. Merinowidder.
(Aus dem Jubiläumswerk der Bremer Wollkämmerei Blumenthal.)

Die Wollen dieser Tiere sind schlicht oder meist nur leicht gewellt, nicht gekräuselt. Das englische langwollige Schaf läßt sich mit Merinos kreuzen, wodurch die Crossbredwolle gewonnen wird. Die Kreuzungstiere nähern sich dabei in den Rasseneigenschaften weit mehr der englischen Rasse als den Merinos, wenn englische Böcke mit Merinoschafen gekreuzt werden, d. h. die Tiere werden größer, fleischreicher, die Wolle ist schlichter und länger. Die Kreuzung der anderen Niederungsrassen mit Merinos ist nicht von gutem Erfolge begleitet, bei einzelnen — wie dem Heid- und Zackelschaf — führt sie überhaupt zu keiner Veredelung.

Woher die Merinorasse (Abbildung 34) ursprünglich stammt, ist ungewiß, als spanische Rasse dürfte sie aber sekundär sein und sich in Spanien nur zu der großen Bedeutung unter den dort waltenden günstigen klimatischen Verhältnissen entwickelt haben. Man nimmt an, daß die Merinos von arabischen Widdern stammen, die in Kreuzung mit südrussischen Schafen verwendet wurden.* Die beiden Hauptarten der

* Jubiläumsschrift der Bremer Wollkämmerei Blumenthal.

Merinos sind die Eskurials und Negrettis, deren Wollen etwas verschieden sind und die sich auch im Ertrag für ein Tier etwas abweichend verhalten. Die Ausfuhr von englischen und spanischen Tieren war bis in das 19. Jahrhundert verwehrt. Von da ab wurde die Schafzucht in Deutschland sehr gehoben, namentlich in Sachsen, wo vorbildliche Zuchtanstalten entstanden, dann aber auch in Schlesien, Württemberg usw. Die sächsische Veredelungswolle erreichte die echte spanische Wolle nicht nur, sondern übertraf sie sogar. Nach der Denkschrift, welche von der Bremer Wollkämmerei Blumenthal vor kurzem herausgegeben wurde, hatte Deutschland:

im Jahre 1863	. . .	rund 28000000	Schafe
„ „ 1873	. . .	„ 25000000	„
„ „ 1883	. . .	„ 19200000	„
„ „ 1892	. . .	„ 13600000	„
„ „ 1900	. . .	„ 9700000	„
„ „ 1907	. . .	„ 7700000	„

Von letzteren fallen auf Preußen etwa 5400000 Tiere, während es im Jahre 1867 noch 18800000 Stück besaß.

Dieser bemerkenswerte Rückgang in der deutschen Schafzucht hat seine Ursache im Niedergang der Preise, durch den die Wollproduktion ihre Rentabilität einbüßte. Der Preisniedergang hat seine Ursache aber wieder in der Aufnahme der Wollproduktion durch überseeische Länder, so vor allem durch Australien, Südamerika (La Plata) und Südafrika (Natal). Australien hatte nach den Angaben der Bremer Wollkämmerei:



Abbildung 35. Australische Schafherde. (Aus dem Jubiläumswerk der Bremer Wollkämmerei Blumenthal.)



Abbildung 36. Scheren der Wolle in Australien. (Aus dem Jubiläumswerk der Bremer Wollkämmerei Blumenthal.)

im Jahre	1810	. . . rund	50000	Schafe
„ „	1840	. . . „	6000000	„
„ „	1860	. . . „	20000000	„
„ „	1880	. . . „	64000000	„
„ „	1892	. . . „	125000000	„
„ „	1900	. . . „	92000000	„
„ „	1908	. . . „	109000000	„

Diese Ziffern erklären ohne weiteres den Rückgang der Schafzucht in Europa, das natürlich nicht mit den Mitteln arbeiten kann, wie das für die Schafzucht ganz besonders geeignete Australien (Abbildung 35 u. 36). Zu etwa 2/3 werden in Australien Merinos bzw. veredelte Schafrassen gezüchtet, 1/3 sind Crossbreds, das sind Kreuzungen englischer Widder mit Merinoschafen. Die Laplatastaaten hatten 1850 erst 7000000 Tiere, bis 1908 ist die Zahl auf 67000000 gestiegen. Am Kap betrug die Schafzahl im Jahre 1908 ungefähr 28000000, so daß Australien, die Laplatastaaten und Südafrika (Kap) im Jahre 1908 zusammen rund 200 Millionen Schafe hatten.

In Deutschland wurden in den letzten Jahren jährlich für etwa 400—450 Millionen Mark Wollen importiert. Der Wollhandel ist wegen der schwankenden Beschaffenheit des Rohstoffes und der Gepflogenheit, die Wolle „im Schweiß“ zu kaufen, ein viele Erfahrung erforderndes Geschäft. Der Käufer kauft die Rohwolle als ungewaschen, cif., d. h. einschließlich der Kosten, Versicherung und Fracht loco einheimischen Hafen, wobei er den Schweißgehalt zu schätzen hat. Australische Wolle wird entweder in Sidney oder in London gekauft; der australische Einkauf hat in den letzten Jahren sehr zugenommen (direkter Kauf). Auch der Handel mit Kammzug, das ist fertig

gekämmte Wolle als Halbfabrikat, ist in Deutschland sehr umfangreich und beziffert sich der jährliche Gebrauch an Zug auf etwa 65000000 kg, wovon die Bremer Wollkämmerei allein 18000000 kg produziert.

Über die Schwankungen, welche im Wollhandel vorkommen, gibt nachstehende Aufstellung, die die höchsten und niedrigsten Preise des Antwerpener Kammzug-Terminmarktes enthält, Aufschluß (Francs für 1 kg).

1893	1894	1895	1896	1897	1898	1899	1900	1901	1902	1903	1904	1905	1906	1907	1908
4,90	4,37	3,20	4,38	3,65	4,08	4,88	6,48	3,80	4,22	4,80	5,25	4,96	5,10	6,25	5,30
4,35	4,—	4,50	3,80	4,05	4,65	6,60	3,60	4,42	4,87	5,42	4,90	5,30	6,15	4,70	4,—
	4,30	3,75			4,18		4,20			4,90	5,26		5,30		5,15
	3,45				4,77										

Hiernach hat zum Beispiel in dem Jahre 1899 ein Preissprung von 4,88 auf 6,60 Frank per Kilo eingesetzt, und unmittelbar darauf trat wieder ein rapider Sturz von 6,60 auf 3,60 Frank per Kilo ein. Schuld an derartigen, die Industrie schwer schädigenden Preisbewegungen sind meist die Termingeschäfte, die unter dem Einfluß der Spekulation stehen. Der Terminkäufer und -verkäufer spekuliert auf die Preisänderung zu eigenen Gunsten, wobei das Mittel falscher Berichte über den Ausfall der Schur, Krankheiten in den Zuchtgebieten, Minderung der Qualität usw. reichlich benutzt wird, ähnlich wie bei Baumwolle die falschen Berichte über den Ausfall der nordamerikanischen Ernte oft zu wildester Spekulation benutzt werden. Der Haussespekulant kauft größere Woll-Lose auf späteren Termin in der spekulativen Voraussetzung, daß der Preis mittlerweile steigen und er die Differenz als Gewinn einstreichen werde, der Baissier verkauft ungedeckt auf späteren Termin in der Erwartung, daß der Preis sinken und er sich am Verfalltage billiger eindecken und an der Differenz sein Geschäft machen könne. In dieser Weise werden naturgemäß oft ungeheure Umsätze erzielt, die aber nicht faktische Rohstoffwerte, sondern nur Spekulationswerte darstellen, oder besser: Gewinn- und Verlustwerte. Ein derartiges Spekulationsjahr war 1900. Die Gerüchte prophezeiten damals schlechte Erträge infolge Futtermangels in Australien, wodurch der Preis durch die Haussespekulation auf die enorme Höhe von 6,60 getrieben wurde, um dann natürlich bei eintretender Klarheit ebenso rasch auf die Hälfte herabzufallen. Nachstehende Aufstellung zeigt die Umsatzschwankungen für Antwerpen, die aber in vielen Fällen, wie schon gesagt, keine wirklichen, sondern fiktive sind:

1890 . . .	29830000	kg	
1892 . . .	47240000	„	
1895 . . .	55180000	„	
1897 . . .	36300000	„	
1900 . . .	**97115000**	„	(Krisenjahr)
1902 . . .	27665000	„	
1904 . . .	29905000	„	
1906 . . .	48490000	„	
1908 . . .	62625000	„	

Das Jahr 1900 hat auch manchen nicht spekulierenden Firmen infolge des rapiden Preissturzes Millionen an Verlust gekostet.

Das Wollhaar besteht — wie alle Tierhaare — aus Hornsubstanz (Keratin) und ist aus mehreren Schichten aufgebaut, ist also eine organisierte Faser. Die äußere Schicht besteht aus schuppenartig einander übergreifenden, die Dicke des Haares ganz umschließenden oder in einigen Teilstücken umhüllenden Oberhaut- oder Epidermiszellen, von welchen auf 1 mm Haarlänge 70—110 entfallen können (Abbildung 37, 38, 39). Unter diesen liegen längliche, spindelförmige Hornzellen (Rindenzellen), die den eigentlichen Haarkörper bilden, und diese umschließen wieder den aus ovalen oder runden Zellen (Markzellen) in loser Lagerung gebildeten Markstrang. Letzterer fehlt bei feinen Wollen (Abbildung 37 u. 38), so bei Merinowolle, meist ganz, oft tritt er nur in kurzen Stücken auf (rudimentärer Markstrang, Abbildung 39). Nur kräftige, dickere Haare der gröberen Wollen enthalten voll ausgebildete Markstränge.



Abbildung 37. Wollhaar ungewaschen (im Schweiß).

Das Haar sitzt mit einer Wurzel in der Haut des Tieres und ist von Fett- oder Hautdrüsen umgeben, die das für die Ernährung des Haares erforderliche Fett absondern (Fettschweiß). Von dieser Fettbildung hängt die Ernährung der Haare und ihre Güte und Gleichmäßigkeit ab. Leidet das Tier Mangel, so mangelt auch die Fettbildung, und das Haar wächst schlecht, nimmt an Dicke ab und ist kraftlos. Schwankt die Nahrung des Tieres an Güte — was in Australien bei Dürren vorkommen kann —, so schwankt auch die Gleichmäßigkeit des Haares, dessen Dicke ist ungleich (untreues Haar), und die Festigkeit ist gering. Untreue, von kranken oder schlechtgenährten Tieren stammende Wolle läßt sich leicht mikroskopisch nachweisen. Größerer Schweißgehalt ist also ein gutes Zeichen für die Güte der Wolle; er schwankt (einschließlich Schmutz) zwischen 80—20 % des Vliesgewichts. Der Wollschweiß ist eine Verbindung von Fettsäuren und Kalisalzen und wird durch die dem Spinnprozeß

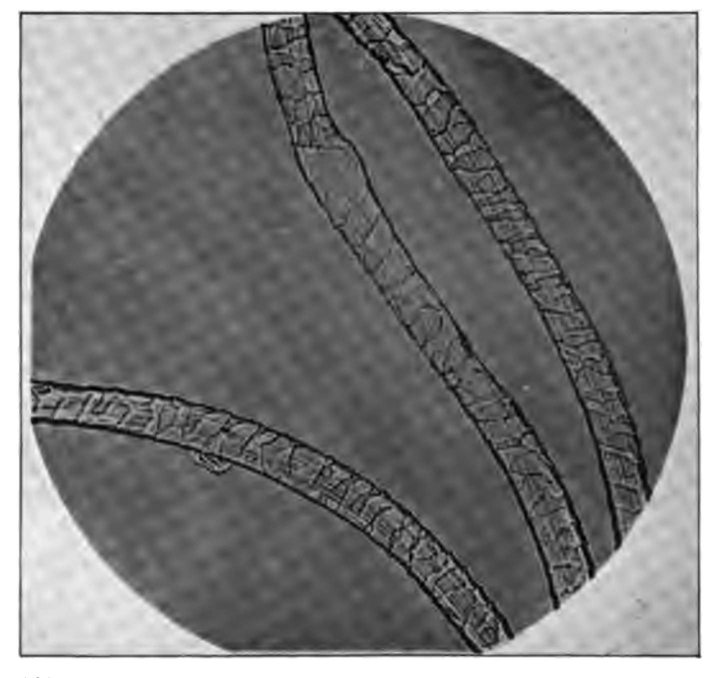


Abbildung 38. Wollhaar gewaschen.

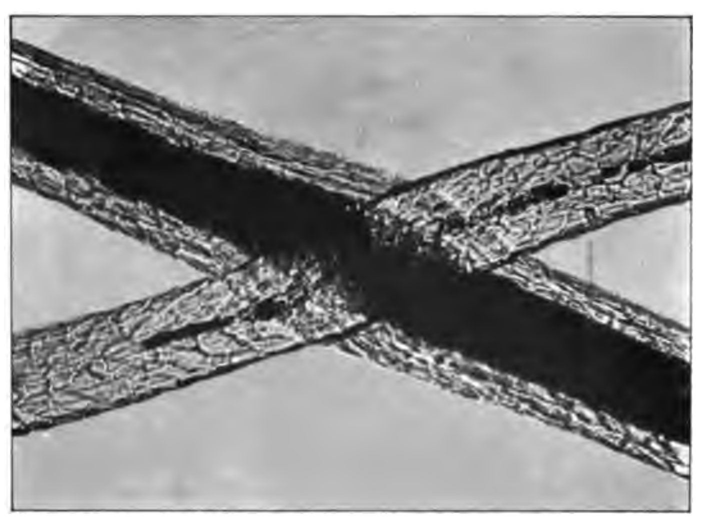
stets vorangehende Operation des Waschens großenteils entfernt. Die Wäsche auf dem Tier ist heute nur noch wenig gebräuchlich, weil die Tiere manchen Erkrankungsgefahren durch sie ausgesetzt sind. In Australien wird heute vielfach nach der Schur im Vlies (scoured wool) in besonderen Waschanstalten (Waschgruben) gewaschen. Es geschieht das, um mit Rücksicht auf die ungünstigen Verkehrsverhältnisse (Transport mit Achse) das Gewicht der Rohwolle herabzudrücken. Unter allen Umständen muß aber in der Fabrik fertig gewaschen werden (Fabrikwäsche), und vielfach zieht man die infolge der steten Kontrolle immer zweckmäßig durchführbare Vollwäsche in der Fabrik jeder anderen vor, weil die ungewaschene Schweißwolle leichter zu sortieren ist. Als Waschmittel wird dabei außer warmem Wasser und Seife auch Soda und kohlensaures Ammoniak angewendet. Die Alkalien erfordern aber sehr vorsichtige Anwendung, da die Wolle gegen sie sehr empfindlich ist. Ätznatron löst die Wolle schon in schwachen Lösungen auf. Deshalb dürfen Seifen kein Ätznatron enthalten. Gegen Säuren ist die Wolle dagegen viel widerstandsfähiger als die pflanzlichen Rohstoffe. Hierauf beruht die Karbonisation, bei welcher durch den Einfluß von Säuren, gewöhnlich Schwefelsäure von 4—5° Bé., und nachheriges Erhitzen bis auf 100 Grad die Pflanzenfaser in einen mürben, zerreiblichen Körper (Hydrozellulose) überführt und dann durch Schlagen und Abventilieren zerstäubt und entfernt wird. Zum Teil verkohlt die Pflanzenzellulose dabei (daher Karbonisieren). Der Vorgang findet weitgehende Verwendung in der Kunstwollfabrikation, welche aus einer Mischung von Wolle mit Baumwolle auf diesem Wege die wertvollere Wollfaser zurückgewinnt. Die rückständige Säure wird später in einem Sodabad neutralisiert. Die Fasergewinnung aus Lumpen, seien es nun ganz- oder halbwollene, erfolgt auf mechanischem Wege durch Reißmaschinen (Reißwölfe). Die Kunstwolle ist natürlich gegenüber der frischen Naturwolle ein minderwertiges Produkt, doch hat diese Industrie die Verwertung großer, sonst verlorener Mengen gebrauchter Wolle für billige Waren möglich gemacht, was einesteils aus wirtschaftlichen, anderenteils auch aus hygienischen Gründen beachtenswert ist.

Auch gegen Oxydationsmittel ist die Wolle empfindlich. Verbrannte Wolle entsteht in der Färberei durch Anwendung einer zu stark oxydierenden Beize. Das Chlor, das als Oxydationsmittel in der Bleiche der Pflanzenfasern eine große Rolle spielt, wirkt auf die Wolle schädlich, sie wird gelb und verliert ihre Filzungsfähigkeit. Dies wird benutzt, um die sogenannte Kreppwirkung zu erzeugen, indem man Wolle mit Chlorlösung bedruckt und dann walkt; an den bedruckten Stellen geht die Wolle im Walken nicht ein.

Das Bleichen der Wolle erfolgt selten in der Flocke, meist als Halbfabrikat (gebleichter Zug) oder noch mehr als Gespinst und Gewebe. Das bekannteste Bleichmittel ist Schwefeldioxyd (schweflige Säure), in deren Dämpfe, die durch Verbrennung von Schwefel in geschlossenen Kammern entstehen, die Wolle gebracht wird. Diese Methode ergibt aber kein ganz einwandfreies Resultat, die Wolle gilbt nach. Besser wirken Natrium- und Wasserstoffsuperoxyd.

Das Walken der Wolle beruht auf deren Filzungsfähigkeit (Krimpkraft), die ihren Grund wieder in der schuppenartigen Oberschicht des Haares hat. Wird nämlich ein Knäuel von Wollfasern in kräftiger Seifenlösung erweicht und dann unter Druck stark gerieben, so heben sich die Schuppen ab und hängen sich ineinander ein, wodurch die Fasermasse in festen Zusammenhang gerät. Es ist klar, daß dieses Krimpen bei solchen Wollen, die von Natur aus mit scharfen Schuppen ausgestattet sind, leichter vor sich geht als bei Wollen mit stumpfen Schuppenrändern, die sogar oft überhaupt

nicht filzungsfähig sind. Es ist dabei selbstverständlich, daß die Haare mit ihren Schuppen einander entgegenstehen müssen, damit eine Filzung eintreten kann. Die schöne Decke, welche die Wolltuche besitzen, ist durch Walken erzeugt und durch Scheren auf gleiche Höhe gebracht. Echter Loden (z. B. steirischer Loden) wurde früher nur durch Filzung erzeugt und war kein Gewebe.



Abbild. 39. Wollhaare mit vollem und rudimentärem Markstrang.

Die Wolle hat als Hornsubstanz wie diese die Eigenschaft der Formbarkeit und der Fixierung in bestimmten Formen durch Bearbeitung in warmem Zustande. Diese Eigenschaft wird in der Wollappretur ausgiebig verwendet (heißes Pressen). Dem Zusammenspringen der Wollgewebe durch Naßwerden kann man durch das Dekatieren begegnen, das ist eine Behandlung der Stoffe mit Dampf.

Die Kräuselung der Wollen ist eine sehr verschiedene, im allgemeinen gilt aber wohl der Satz, daß die feinen Wollen stärker gekräuselt, die groben schlichter sind. Man unterscheidet normalbogiges Haar (Bögen im Halbkreis), hochbogiges (Bögen über dem Halbkreis aufsteigend) und flachbogiges (Bögen unter dem Halbkreis). Die Zahl der Bögen beträgt auf 25 mm 10—36.

Die Länge des Haares schwankt zwischen 20—250 mm, die Dicke zwischen 0,01—0,05 und 0,08 mm. Langstaplige Wollen (über 100—180 mm und mehr) werden vornehmlich für die Kammgarnspinnerei verwendet, die auch schlichte Wollen, die einen glatteren Faden ergeben, bevorzugt. Indessen ist die Kräuselung in der Kammgarnspinnerei weniger bedeutungsvoll, weil sie durch ein besonderes Verfahren, das Entkräuseln auf der Plättmaschine (Lisseuse), zum großen Teil entfernt werden kann. Die Abfälle des Kämmprozesses, die Kämmlinge, sowie alle kürzeren Wollen (unter 100 mm), die größere Kräuselung besitzen, werden als „Streichwollen“ nach dem Streichgarnverfahren verarbeitet.

Das Vlies wird von dem Tier als zusammenhängendes Ganzes abgeschoren, so daß alle Teile (Hals, Rücken, Seiten usw.) bei Schweißwolle später deutlich zu erkennen sind. Im Sortiersaal werden nach diesen Teilen die Einzelpartien der Güte nach getrennt (sortiert). Man unterscheidet dabei, die Qualität in absteigender Linie gedacht (Abbildung 40): Schulterblätter l (Blätter), Flanken k, Halsteile d (Halsseiten), Keule i (Hinterschenkel oben). Diesen vier edlen Vliesteilen stehen an Güte nach: Nacken f, Rücken g, Kreuz h, Kehle und Brust e, Oberhals c, Bauch m, Hinterschenkel n unten, Schwanzteil, Kopf a und b (Locken), Füße p (Stücke). Das Sortieren erfordert besondere Erfahrung.

Der Verkauf der Wolle erfolgt nach Typenbezeichnungen, für welche sich namentlich die Buchstaben A bis E eingebürgert haben. Man unterscheidet hiernach absteigend AAA-Wollen, AA-, A-, B-, C-, D- und E-Wollen und stuft innerhalb der einzelnen Klasse noch besonders ab, wie das für A angedeutet wird (z. B. C^{I}, C^{II} usw.).

Die einzelne Schur liefert naturgemäß verschieden große Quantitäten. Veredelte Landschafe ergeben durchschnittlich 1,1—3,3 kg für das Tier, Merinos (Mutterschafe) 1—2 kg, Widder 1,5—2 1/4 kg.

Der Gehalt der Wolle an Unreinigkeiten — abgesehen vom Wollschweiß — ist oft ziemlich groß. Die schlimmsten Beimengungen sind die Steinkletten und die geringelten vegetabilischen Kletten. Die Schmutzkletten lösen sich größtenteils bei der Wäsche, die Ringelkletten können aber nur durch den Kämmprozeß der Kammgarnspinnerei vollständig entfernt werden, oder durch eine Karbonisierung. Die Streichgarnspinnerei hat keinen Kämmprozeß und hat infolgedessen viel größere Schwierigkeiten mit der Abscheidung der Kletten.

Die Wolle nimmt viel Feuchtigkeit auf und läßt sich mit Vorteil nur bei hoher relativer Luftfeuchtigkeit (85 %) und in gut erwärmten Lokalen spinnen. Der zulässige Feuchtigkeitsgehalt beträgt bei Streichwolle 17 %, bei Kammwolle 18 1/4 % des absoluten Trockengewichts.

Unter Gerberhaaren (Raufwolle) versteht man Wollen, die von den Fellen geschlachteter Schafe stammen. Diese Qualitäten sind meist minderwertig, weil für ihre Gewinnung Chemikalien (Kalk, Schwefelnatrium) verwendet werden, die die Haare angreifen.

2. Ziegenhaare. Von der einheimischen Ziege läßt sich ein gutes Haar von größerer Länge gewinnen, das schlicht und gut spinnbar ist. Das beste Ziegenhaar stammt jedoch von der Angoraziege in Kleinasien, die mit Erfolg auch in Frankreich, Spanien und Südafrika gezogen wird. Die Mohär- oder Angorawolle (Glanzwolle) ist 120—200 mm lang, weiß, leicht gelockt und ziemlich fein. Die Kaschmirziege (Himalaja) liefert ein weiches, langes, geschmeidiges Haar von beachtenswerter Feinheit, die Farbe ist grauweiß. Aus Kaschmirwolle werden die feinen indischen Schals hergestellt. Ähnlich ist die Wolle der Tibetziege beschaffen, allerdings aber gröber und von geringerem Glanz.

3. Kamelwollen. Die Tiere liefern zweierlei Haare: bis 100 mm lange, gelbe und braune, gekräuselte, ziemlich feine und dunklere (sogar schwarze) von etwa 50—70 mm Länge und geringerer Feinheit und größerer Schlichtheit. Die feinen langen Haare werden versponnen und namentlich zu Decken und sogenannten Kamelloden verarbeitet.

4. Schafkamelwollen (von Lama, Vicunja, Alpaka). Die Lamawolle ist für feinere Gespinste infolge ihrer groben Beschaffenheit unverwendbar; sie wird nur für grobe Sachen verarbeitet. Überlegen ist ihr die Alpaka, die weiß, braun oder schwarz und ziemlich fein ist; sie wird mit Kamelwolle zusammen verarbeitet (Stammland Südamerika, wird auch in Frankreich gezüchtet). Die Vicunjawolle stammt auch aus Südamerika, doch werden die Tiere nicht gezüchtet, sondern nur als Wild gejagt. Die Ausbeute ist also gering. Das Haar der Vicunja ist aber sehr schön, fein, rotbraun, seidenartig glänzend.

Die Vigognegespinste, welche heute unter Nachbildung des Namens im Handel vorkommen, haben mit der Vicunja nichts gemein, sie bestehen aus einer in weiten Grenzen schwankenden Mischung von Wolle und Baumwolle. Rein baumwollene Gespinste, die mit Streichgarnverfahren erzeugt wurden und das Mischgespinst oder auch reinwollene Gespinst imitieren sollen, führen die Bezeichnung Imitatgarne.

5. Gerberhaare (Kuh- und Kälberhaare). Außer den Wollen von geschlachteten Schafen gehören hierher die Haare der durch Äscherung von den Häuten geschlachteter Rinder, Kühe und Kälber gewonnenen Haare. Das Material hat meist frei-

gelegte Haarzwiebeln, ist grob und steif und läßt sich nur zu groben Decken (Kotzen) verwerten. Auch Hirsch- und Wildhaare gehören hierher.

6. Roßhaare. Mähne und Schweif des Pferdes liefern ausgezeichnete Webhaare, die direkt in der Roßhaarweberei verarbeitet werden können, wobei ein Greiferstab oder ein Greiferschütze das einzelne Haar als Schuß aus einem Bündel herausfaßt und einzieht. Die Haare sind verschieden dick und lang ($^1/_{10}$—$^1/_4$ mm und 400—800 mm), auch die Farbe ist sehr verschieden, am wertvollsten ist reinweiß und schwarz. Das Roßhaargewebe ist infolge seiner Steifheit und Elastizität geschätzt als Einlage in Kleider und wird ausgiebig zu Haarsieben, Litzen, Flechtwerken usw. verwendet.

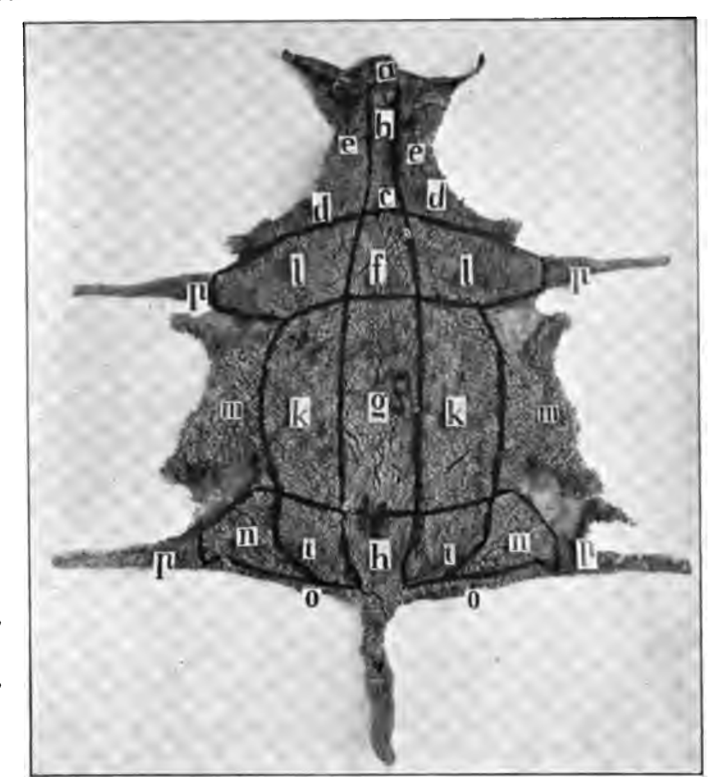


Abbildung 40. Schaffell mit Klassenbezeichnung der einzelnen Vliesteile.

7. Hundehaare, vornehmlich die des Pudels, werden mit anderen tierischen Haaren und mit Schafwollabfällen zu groben Gespinsten verarbeitet.

8. Biberhaare und Hasenhaare finden ebenfalls mannigfache Verwendung in Mischung mit anderen animalischen Rohstoffen. Sie bilden das hauptsächliche Material für die Hutfabrikation. Auch Katzenhaare gehören der Verwendung nach zu dieser Gruppe.

9. Borsten, finden zu Bürsten, die hiervon ihren Namen haben, und sonst mannigfaltige Verwendung, sind aber nicht spinnbar.

10. Kunstwolle. Über die Gewinnung dieses Rohmaterials aus verarbeiteten reinwollenen Geweben (Schneiderei- und Konfektionsabfälle, abgetragene Wollstoffe usw.) und gemischten Geweben wurde schon oben auf S. 386 gelegentlich der Erwähnung der Karbonisation einiges gesagt. Die Franzosen bezeichnen die Kunstwolle als „Laine du renaissance" oder kurzweg „Renaissance", was vielleicht bezeichnender ist, da das Material keineswegs, wie zum Beispiel „Kunstseide", auf chemisch-mechanischem Wege künstlich erzeugt, sondern nur „rückgewonnen" wird. Die Kunstwolle hat eine große Bedeutung erlangt, und ihre Verarbeitung ist volkswirtschaftlich deshalb besonders wichtig, weil große Mengen wertvollen Materials nicht sofort nach dem ersten Gebrauch zugrunde gehen, sondern nochmals unter wesentlicher Verminderung des Anschaffungswertes, der aber doch noch viel höher steht als der reine Abfallwert, nutzbar gemacht werden. Zum Teil ist die Kunstwollindustrie als Wiederverwertungsverfahren für Wolle auch aus dem Umstande zu erklären, daß für die vegeta-

bilischen Textilabfälle (Baumwolle, Leinen usw.) in der Papierfabrikation eine ausgiebige Verwendungsmöglichkeit besteht, während Tierwolle für Papier unbrauchbar ist. Es wird indessen auch sehr viel Kunstwolle aus pflanzlichen Textilabfällen durch Reißen und Zerfasern erzeugt, so daß der Name, der vielfach nur als für Wolle passend angesehen wird, dem Sinne nach von allgemeinerer Bedeutung ist.

Für reinwollene Kunstwollen bestehen folgende Unterscheidungen:

a) Mungo, durch Zerfasern von alten und neuen gewalkten Wollstoffabfällen (Tuchen) gewonnen;

b) Shoddy, aus ungewalkten Wollstoffabfällen hergestellt;

c) Alpaka (Extrakt), aus Abfällen erhalten, die nicht Reinwolle sind, sondern aus einer Mischung von Wolle mit Baumwolle bestehen; hier ist durch Karbonisation die vegetabilische Faser zu vernichten und die Wolle aus dem Gemisch zu extrahieren.

Die Fasern von Mungo fallen ziemlich kurz aus, weil die gewalkten Stoffe der Zerfaserung größeren Widerstand entgegensetzen (5—20 mm); Shoddy ist etwas länger (10—25 und 30 mm). Die Karbonisation greift die Wollfaser nur an, wenn sie zu rasch durchgeführt wird. Schonender als Schwefelsäure und Salzsäure (verdünnt) wirken Chloraluminium und Chlormagnesium.

B) SEIDEN. 11. Echte oder edle Seide (Maulbeerseide). Dieser Rohstoff ist ein tierisches Naturgespinst, das als solches fertig von der Raupe eines Nachtschmetterlings (Bombyx mori, daher auch Morusspinner) in Form von zwei Fäden, die aus dem unter dem Munde des Tieres liegenden beiden Spinndrüsen austreten und sich sofort zu einem Faden vereinigen, geliefert wird. Dieser sofort erstarrende Doppelfaden (Abbildung 41) wird von der Seidenraupe, die sich dabei mit dem Vorderkörper aufrichtet und mit demselben achterförmige Bewegungen ausführt, zu einer Schutzhülle für die Puppe, dem Kokon, verarbeitet. Die Raupe braucht vom Zeitpunkt des Auskriechens aus dem Ei bis zur Erreichung ihrer Vollgröße etwa einen Monat, häutet sich während der Entwicklung viermal, wird ungefähr 80—90 mm lang und vermehrt ihr Gewicht um das 5000 fache. Einige Tage vor dem Einspinnen hört das sonst sehr gefräßige Tier auf zu fressen, und die an den Körperseiten befindlichen Spinndrüsen füllen sich mit dem honigartigen Spinnsekret. Die Tiere sind hauptsächlich gegen Kälte und Feuchtigkeit empfindlich, nasses Futter ist ihnen sehr verderblich. Zunächst bildet die Raupe eine lockere äußere Hülle, die sie an Strohhalmen oder bereitgestelltem Reisig festheftet (Flockhülle, Flockseide), dann spinnt sie mit großer Regelmäßigkeit den festen Teil des eigentlichen Kokons in eiförmiger, in der Mitte gewöhnlich etwas eingeschnürter Form (30—36 mm lang, 20—27 mm Durchmesser). Dieser feste Teil zerfällt wieder in einen äußeren, besonders regelmäßig gewickelten, der sich abhaspeln läßt, und in einen inneren, dessen Faden zwar länger ist, der sich aber infolge einer vollständigen Verklebung der Wickelungen pergamentartig gestaltet und nicht mehr abgewickelt werden kann. Die Länge des haspelbaren Fadens beträgt etwa 300—800 m, die des inneren Teiles 2800—3500 m. Das Puppenstadium dauert ungefähr 2—3 Wochen, dann spritzt der Schmetterling ein braunes Sekret gegen eins der spitzen Enden des Kokons und erweicht dieses, durchbeißt die weiche Hülle und kriecht aus. Die Paarung erfolgt dann sofort, nach kurzer Zeit legen die Weibchen die Eier ab, worauf beide Geschlechter sterben.

Der Seidenfaden ist ein homogenes Gebilde. Er besteht aus einem Albuminkörper, dem Fibroin, der außen mit einer dünnen häutchenartigen Schicht, dem Seidenleim (Seidenbast) oder Serizin, bedeckt ist. Man hat angenommen, daß diese Außenschicht, die dem Faden den Glanz nimmt, durch den Einfluß des Luftsauerstoffes

und der Luftfeuchtigkeit entsteht. Der chemischen Zusammensetzung nach wäre diese Erklärung allerdings zulässig, aber anderseits ist gefunden worden, daß die Scheidung in die beiden Schichten schon innerhalb der Sekretbehälter vorhanden ist, was die Vermutung nahelegt, daß die Serizinhülle überhaupt den Dienst einer Schutzhülle zu versehen hat. Die serizinbedeckte Seide zeigt mikroskopisch (Abbildung 41) leichte Querrisse, die von dem abblätternden Seidenleim herrühren; außerdem erkennt man eine feine Längsstrichelung. Die Klebfuge, an welcher die beiden Einzelfäden zusammenhaften, ist deutlich erkennbar, zeitweilig tritt eine Spaltung auf (Abbildung 41). Das Serizin ist glanzlos, hart, meist farbig (gelb, grünlich) und macht 25—35 % des Rohseidengewichts aus. Durch Entbasten (Entschälen, Degummieren) wird der Seidenleim entfernt, und die weiße, glänzende Seide, der reine Fibroinfaden, bleibt übrig. Das Entbasten besteht in einem Kochen in heißer, schwach alkalischer Lösung, meist Seife. Letztere muß wegen der Empfindlichkeit der Seide gegen Alkalien neutral sein. Souplierte Seide ist schwach gekocht und nur teilweise entbastet. Volle Entbastung erfordert mehrmaliges Abkochen. Die Farbe ist meist weiß, manchmal aber auch gelb, dottergelb, rötlich und grünlich. Der Doppelfaden hat eine Dicke von 0,025 bis 0,027 mm, der einfache etwa 0,013 mm. Der hohe Glanz hat etwas Gebrochenes an sich, es ist kein spiegelnder Glanz, worin eben sein besonderer Vorzug liegt. Man führt dies darauf zurück, daß der Faden nicht glatt und rund ist, sondern ein vielfach gebrochenes feines Vieleck mit winzig kleinen Flächenbildungen darstellt, die sich in der Längsrichtung verschieben. Der Seidengriff (Seidenknirschen, Seidenschrei) ist ein rauschendes, knisterndes Geräusch, das beim Angreifen vernehmbar und nach Behandlung in einem verdünnten Säurebad verstärkt auftritt (Avivieren der Seide). Die Seide ist sehr hygroskopisch, der zulässige Feuchtigkeitsgehalt beträgt 11 % des absoluten Trockengewichts.

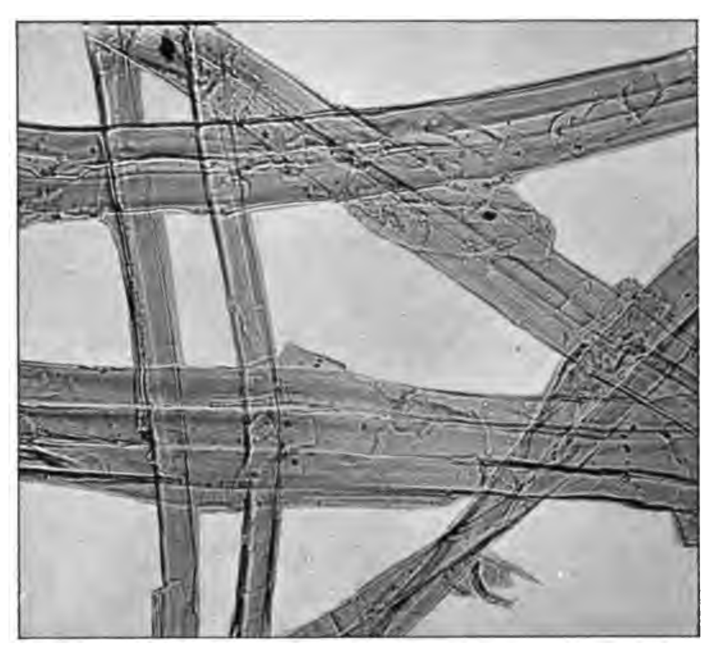


Abbildung 41. Seidengespinst vom Maulbeerspinner.

Die Seidengewinnung ist in zwei Teile zu unterscheiden: in a) die Rohseidenerzeugung (Haspelseiden); b) das Spinnen der Abfallseiden (Florett- oder Schappeseide, Bouretteseide).

Die Haspelseiden (Grègeseiden) werden unmittelbar durch Abhaspeln der äußeren Kokonhüllen gewonnen. Die für das Haspeln verwertbaren Kokons dürfen nicht beschädigt, vor allem vom Schmetterling nicht durchbohrt sein. Sterblingskokons, deren Puppen abstarben und in Fäulnis übergingen, sind unbrauchbar, ebenso Doppelkokons, welche durch das Aneinanderspinnen zweier Kokons durch zwei Raupen entstehen. Eine große Zahl von Kokons ist unregelmäßig gesponnen und kann nicht gehaspelt

werden. Die für die Haspelung bestimmten Hüllen werden behufs Tötung und Trocknung der Puppen in trockene Hitze — auch Dampf mit nachfolgendem Trocknen wird angewendet — gebracht. Sodann erfolgt ein Sortieren, weil es nicht zweckmäßig ist, die Fäden von ungleichartigen Kokons zusammenlaufen zu lassen. Für das Haspeln werden die Kokons zunächst in ein Einweichgefäß E (Abbildung 42) mit warmem Wasser gebracht, über dem eine Bürste B rotiert, deren Haare die Kokons streifen und die losen Enden der Fäden aufnehmen. Die so gefundenen Fadenanfänge von 5—25 Kokons werden vereinigt, die Kokonhüllen in ein zweites Gefäß E_1 mit erwärmtem Wasser gebracht und durch Ösen O und einen hin und her bewegten Fadenführer F derart an den eigentlichen Haspel H geleitet, daß eine innige Verschlingung eintritt und ein gleichmäßig gerundeter Rohseidenfaden erzielt wird. Damit die Einzelfäden sich besser verschlingen, zusammenfügen und abglätten, sind sie zunächst in Windungen 1 durch Ösen O_1 und O_2 geführt und drehen sich dann in Verschlingungen 2 um den ersten Lauf. Die Reibung der beiden Fadenläufe erzeugt die Abrundung und Glättung. Der Haspel (sechsseitig) liegt in einem geschlossenen und durch Dampfrohre geheizten Glaskasten, so daß das Material schon während des Haspelns nahezu vollständig trocknet. Die Gleichmäßigkeit des Fadens hängt von der Geschicklichkeit der Arbeiterin ab, denn die Raupen spinnen verschieden starkes Gespinst, und die Arbeiterin muß je nach der Stärke des Kokonfadens 20, 22 oder nur 18 Fäden zusammenlaufen lassen, um eine gleichmäßige Dicke zu erzielen. Mehrere dieser Rohseidenfäden oder Haspelfäden werden gewöhnlich nachträglich gezwirnt oder muliniert. Das Mulinieren umfaßt aber eigentlich eine ganze Reihe von Vollendungsarbeiten, nämlich: 1. Spulen und Putzen; 2. Drehen; 3. Dublieren; 4. Zwirnen; 5. Haspeln; 6. Entschälen oder Entbasten.

Beim Spulen und Putzen werden die Rohseidenfäden vom Strang abgewickelt und in starker Kreuzung auf Spulen gebracht, wobei sie feine Fadenschlitze passieren und durch Abstreifung gereinigt (geputzt) werden. Das Drehen (Filieren) ist notwendig, damit die nur lose zusammenhaltenden Fäden nicht später bei dem Entschälen (Kochen) auseinanderfallen. Das Filieren erfolgt auf gewöhnlichen Zwirnmaschinen und wird auch als „erster Appret" bezeichnet. Sodann folgt ein Dublieren durch Überwinden in Parallelwindung auf neue Spulen unter möglichst konstanter Spannung, damit die dublierten Fäden genau gleiche Länge erhalten und sich später beim Zwirnen gleichmäßig zusammendrehen. Schließlich werden die so vorgerichteten Fäden auf einer für den Zweck besonders eingerichteten Seidenzwirnmaschine fertig gezwirnt oder muliniert (zweiter Appret). Nach dem Haspeln des fertigen Zwirns folgt das Entbasten bzw. die Abkochung der Seidenleimhülle. Es werden etwa 5 kg reine Seife in 300 Liter Wasser gelöst und in das 90° C heiße Bad die Stränge eine halbe Stunde eingehängt. Nach Ausringen der Flüssigkeit verpackt man die Stränge in Leinensäcke (Partien von je 30 kg) und kocht zwei Stunden in schwacher Seifenlösung, dann folgt mehrmaliges Spülen in warmem Wasser. Der Verlust ist sehr erheblich, 25—30 %, weshalb man auch oft nur die erste Operation, das Einhängen in heiße Seifenlösung, vornimmt. Die großen Gewichtsverluste bei der Degummierung sind angesichts des hohen Marktpreises der Seide ein erheblicher Verlust (1 kg Seide 25—55 M.). Um diesen Verlust hereinzubringen, wird die Eigenschaft der Seide, mit größeren Quantitäten von Metallsalzen leicht in Verbindung zu treten, zur Beschwerung benutzt (Zinnverbindungen, Eisensalze usw.). Für schwarze Seide wird das Beschweren mit dem Färben verbunden. Nur bis zum Entschälungsverlust beschwerte Seide ist „pari" belastet; doch kann die Beschwerung 50, 200 und sogar 300 und mehr Prozent über

pari steigen. Zu sehr beschwerte Seide ist sehr brüchig und wenig haltbar, wie überhaupt die Beschwerung die Güte des Materials sehr nachteilig beeinflußt. Die Beschwerung ist aber wegen des Preises als notwendiges Übel zu betrachten, weil sie das Material zwei- bis dreimal billiger macht, als es sonst wäre.

Durch das Zusammendrehen der abgehaspelten Kokonfäden entsteht die Grèze- oder Grègeseide. Das Vereinigen mehrerer Grègefäden ergibt für Kette die stärkere Organsin-, für Schußzwecke die schwächere Trameseide.

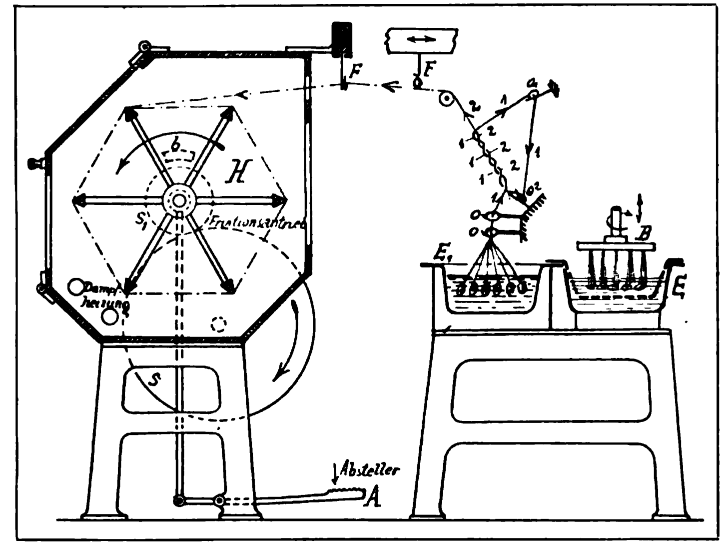


Abbildung 42. Seidenhaspel.

Der Abfall, welcher in der Seidenhaspelei entsteht, wird, ebenso wie die von den nicht haspelbaren Kokons stammende Seide, spinnmäßig verarbeitet. Man unterscheidet:

a) Florettspinnerei (Schappespinnerei). Die Abfälle der Seidenhaspelei bestehen vornehmlich in den fest verklebten inneren Hüllen, die pergamentartig sind und nicht ablaufen (Strusa); sodann aus der äußeren Flockseide und den von den Schmetterlingen durchbissenen Kokons, den Sterblingskokons usw. Die Florettspinnerei muß das Fasermaterial erst gewinnen. Dies geschieht zunächst durch das Faulen (Mazerieren, Mazeration), Waschen und Trocknen. Hierbei werden die Abfälle in Behältern aufgeschichtet, mit Wasser getränkt, zugedeckt, von unten durch die Öffnungen eines Doppelbodens mittels Dampfheizung erwärmt, so daß das Wasser 60—70° C annimmt. Durch faule Gärung zerfällt der Klebestoff, die Fasersubstanz bleibt jedoch — rechtzeitige Unterbrechung des Prozesses vorausgesetzt — unverletzt. Hierauf folgt Waschen, Spülen und Trocknen. Die so erhaltene Fasermasse gelangt dann auf eine Maschine, die mit einem Peitschenschlagzeug ausgerüstet ist; hier werden die Fasern vollständig freigelegt. Dann erst beginnt der eigentliche Spinnprozeß, der damit anfängt, daß die Fasern mit Seifenwasser eingesprengt und etwa 24 Stunden behufs vollständiger Durchdringung liegen gelassen werden. Dieser Stoff wird auf einer sogenannten Deckenmaschine, die kardenartig arbeitet, vollends zerfasert und zu einer Art Pelz oder einer Watte aufbereitet, gelangt dann auf eine Fillingmaschine, die mit Kämmen die Fasern geradelegt und für die darauffolgende Kämmaschine vorbereitet (Langkämmer und Rundkämmer). Durch Strecken auf Gillboxes, Vorspinnen (auf Flyern, Hechelvorrichtungen) und Feinspinnen (Flügel- und Ringmaschinen, Selfaktoren) erhält man schließlich das Feingespinst.

b) Die Bourettespinnerei verarbeitet die Abfälle der Florettspinnerei, namentlich Kämmereiabfälle (Kämmlinge, Stumba, Seidenwerg, Bourre). Das Verfahren ist der Streichgarnspinnerei nachgebildet und besteht aus einem Schlagen auf Trommelöffnern, zweifachem Krempeln auf Walzenkarden, von welchen die zweite mit Florteiler ausgerüstet ist und das Vorgespinst liefert. Auf Streichgarnselfaktoren (Mule-

jennys) wird fertig gesponnen. Bourette wird aber auch nach dem Krempeln gestreckt, gekämmt und dann ähnlich wie Florette gesponnen. 100 kg Stumba geben nur etwa 20—30 kg Garn. Oft wird auch Bourette mit Wolle zusammen nach dem Streichgarnverfahren verarbeitet.

Seidenshoddy ist ähnlich wie Wollshoddy durch Zerfaserung von Seidenstoffabfällen hergestellt und wird mit Bourette nach der Streichgarnmethode verwertet.

Das Ursprungsland der Seide ist ohne Zweifel China, von wo sie allmählich nach Japan, Indien, Persien und das südliche Europa vordrang. Die Vorbedingung für die Seidenkultur ist die Anpflanzung und das Fortkommen des Maulbeerbaumes, der in nördlichem Klima nicht gut gedeiht. In den letzten Jahrzehnten ist es übrigens gelungen, den Morusspinner an die überall in Deutschland fortkommenden Schwarzwurzelblätter zu gewöhnen, doch ist ein nennenswerter Erfolg seither nicht zu verzeichnen gewesen, da die Zucht sich nicht als lohnend erwies.

Da die Seide sehr viel Feuchtigkeit annimmt, wird sie nicht ohne Konditionierung gehandelt. Der zulässige Wassergehalt beträgt 11 % vom absoluten Trockengewicht, doch nimmt die Seide bis 30 % auf.

Die Seidenproduktion betrug 1907 rund 22000000 kg, 1880 war sie nur etwa 9000000 kg groß. Der Hauptteil der Produktion entfällt auf China, Japan und Indien, und zwar etwa die Hälfte, ein Viertel wird in Italien, Spanien, Frankreich und Österreich, ein Viertel in Kleinasien und der Levante erzeugt.

12. Wilde Seiden. Die Raupen einer Anzahl großer Nachtschmetterlinge spinnen sich — ohne daß eine besondere Wartung notwendig wäre — im Freien ein und liefern, zum Teil mehrmals im Jahre, eine zwar nur ausnahmsweise abhaspelbare, jedoch sehr gute und kräftige Seidenfaser. Am bekanntesten und der Gewinnungskultur nach ältesten ist wohl die indische Tussahseide des Tussur- oder Tussahspinners, dessen braune Kokons nicht so leicht haspelbar sind wie die des Maulbeerspinners. Die Fäden sind nicht mit einem Bast eingehüllt, sondern die Raupe verklebt die einzelnen Schichten nach dem Spinnen mit einem Klebestoff, nach dessen Lösung die Fäden freiliegen. Das Abhaspeln ist aber durch den Umstand, daß die Raupe Blätter und Zweige zum Teil mit einspinnt, erschwert, weshalb die Tussah in der Hauptsache ausgesponnen wird, entweder allein oder in Mischung mit Wolle. Die Tussah hat einen ziemlich steifen, glasartigen und dicken Faden (0,05 mm) mit sehr deutlicher Streifung in der Längsrichtung, die von den Fibrillen herrührt, aus welchen die Faser zusammengesetzt ist. Die Faser erscheint oft gefaltet, übergelegt (Abbildung 43).

Die Eriaseide stammt von dem ostindischen Rizinusspinner und ist der Tussah sehr ähnlich.

Der echten Seide am nächsten steht die japanische Yamamaiseide, die von einem Eichenspinner stammt, der blaßgrünliche abhaspelbare Kokons liefert, deren Fäden mit 0,027 mm Dicke dem Faden des Morusspinners ungefähr gleich ist. Die Fagaraseide ist das Produkt des in Ostindien vorkommenden Atlasspinners, der einen an beiden Enden offenen Kokon von 120 mm Länge liefert, dessen Faden der Tussah ähnelt.

Der Konsum an wilden Seiden hat infolge der Billigkeit dieses Materials sehr zugenommen, doch ist es seither nicht gelungen, die wilden Seidenspinner mit Erfolg nach Europa zu verpflanzen.

13. Muschelseide (Seeseide, Byssus). Die Steckmuschel, welche an den Küsten Italiens und des Mittelmeeres vorkommt, besitzt einen Muschelbart, mit dem sie sich

an Klippen, Steinen usw. anheftet. Die etwa 50 mm langen Fasern besitzen gute Eigenschaften, sie sind elastisch und ziemlich fest, haben metallischen Glanz und lassen sich zu Gespinsten verarbeiten. Die Gewinnung ist aber so schwierig und die Produktion so gering, daß das Material industriell keine Rolle spielen kann und nur für eine kleine lokale Hausindustrie in gewissen Küstengebieten in Betracht kommt.

14. Die Seide von Spinnen läßt sich durch Einsperrung der Tiere und künstliche Entziehung der Spinnfäden aus den Drüsen, wobei immer mehrere Fäden sogleich vereinigt werden, gewinnen. Der Faden der Spinne ist von größter Feinheit und rein weiß, von Bedeutung für die Faserstoffindustrien ist das Material natürlich nicht.

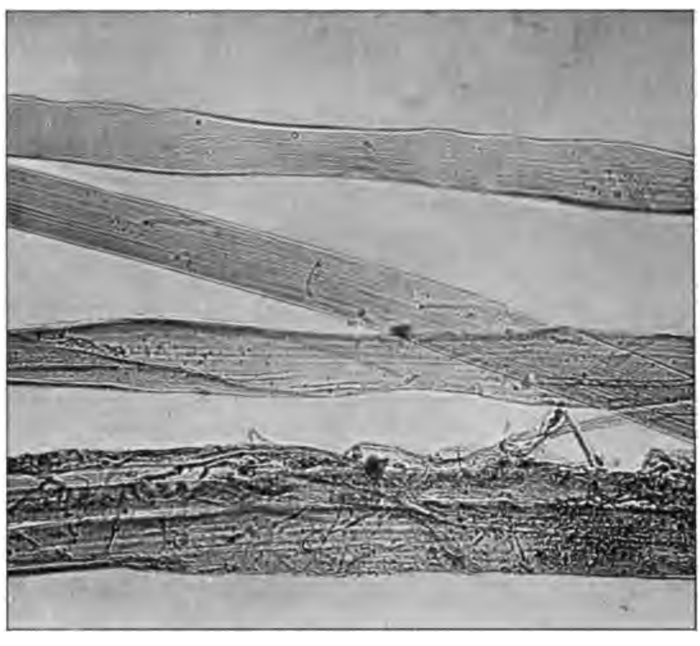


Abbildung 43. Tussahseide.

III. MINERALISCHE FASERSTOFFE

1. Asbest. Dieses aus haarartigen Kristallnadeln zusammengesetzte Mineral läßt sich sehr leicht in feine faserartige Teile zerlegen. Den Hornblenden verwandt, besteht der Asbest aus kieselsaurer Magnesia, die durch Tonerde, Eisenoxyd und -oxydul usw. verunreinigt ist. Man unterscheidet nach dem Muttergestein Hornblenden- und Serpentinasbeste; die ersten kommen vornehmlich in Italien und im Kapland vor, die zweiten in Kanada und Sibirien. Aus geringeren Lagern wird Asbest in England, Sachsen, Schlesien, Tirol usw. gefördert. Rein weißen Asbest gibt es selten, der schönste ist der italienische; meist hat das Material einen Stich in das Rötliche, Grünliche oder Bläuliche. Die Bedeutung des Asbestes liegt in dessen Feuerbeständigkeit und Spinnbarkeit. Mit irgendeiner groben Pflanzenfaser, vornehmlich mit Bastfasernwerg, läßt sich der geschmeidige Asbestkristall sehr gut zu Gespinsten verarbeiten. Durch nachträgliches Ausglühen wird dann das brennbare Material entfernt. Unverbrennliche Asbesttücher, gepreßte Asbestplatten usw., Asbestdichtungen finden in der Industrie vielseitige Verwendung. Feuersichere Dekorationen und Vorhänge wurden aus Asbest ebenfalls schon hergestellt. Die Asbestindustrie hat in den letzten dreißig Jahren in Deutschland einen beachtenswerten Aufschwung genommen.

6. KÜNSTLICHE ROHSTOFFE

PFLANZLICHER ABSTAMMUNG.

1. Kunstseide und Glanzstoffe. Der Gedanke, künstliche Faserstoffe als Ersatz für die von der Natur zwar sehr vollkommen, jedoch auch teuer gelieferten edleren Faserstoffe — vornehmlich der Seide — zu erzeugen, ist sehr alt,

hat aber erst zu einem praktischen Ergebnis geführt, als der französische Chemiker Graf von Chardonnet das Verfahren des Engländers Swan wieder aufnahm und für die Herstellung von Kunstseide Nitrozellulose verwendete. Für die Kunstseidenindustrie kommt vornehmlich die Baumwollzellulose in Betracht, doch kann auch die Zellulose des Holzes, Strohes usw. benutzt werden. Durch Nitrierung der Baumwolle in Salpetersäure von bestimmtem spezifischem Gewicht wird eine in Ätheralkohol lösliche Baumwollnitrozellulose (Schießbaumwolle, Pyroxilin) erhalten; die in der Konsistenz etwa dem Syrup ähnelnde dicke Flüssigkeit (Kollodium) wird sodann unter Druck von 8—10 Atm. durch sehr feine Spinndüsen gepreßt, wobei sie in eine kalte Flüssigkeit (gewöhnlich Wasser) einläuft und zu einem feinen Faden erstarrt. Dieses Gespinst enthält noch die Nitrokörper der Nitrozellulose und ist infolgedessen sehr feuergefährlich. Die ersten Verbesserungen des Verfahrens, die von Chardonnet und anderen Erfindern stammen, bezogen sich alle auf die Denitrierung, die heute in ziemlich vollkommener Weise erzielt wird. Aber auch das Hauptverfahren wurde vielfach verbessert, zur reinen Kollodiumlösung wurden Glyzerin, Fischleim und andere Körper behufs Verbesserung der Weichheit und Geschmeidigkeit, die anfangs sehr zu wünschen übrig ließen, eingeführt.

Der Kollodiumseide, die aus gelöster Nitrozellulose entsteht, ist ein Konkurrent in der Kupferoxydammoniakseide entstanden. Wie oben (S. 359) schon ausgeführt worden ist, löst sich Baumwolle in Kupferoxydammoniak (Lösung von Kupferoxyd und Ammoniak) mit Quellungserscheinungen völlig unter Bildung einer dicklichen Flüssigkeit auf. Spritzt man letztere durch Spinndüsen in verdünnte Schwefelsäure, so gehen Kupfer und Ammoniak in Lösung, und reine Zellulose bleibt als feiner Faden übrig. Dies Fabrikat bezeichnet man zum Unterschied von der Chardonnetschen „Kunstseide“ als „Glanzstoff“. Das Kupferoxydammoniakverfahren hat den Vorteil vor dem älteren Verfahren voraus, daß man keine Nitrierung vorzunehmen braucht und die gereinigte Baumwolle unmittelbar lösen und aus der Lösung heraus verspinnen kann. Hierdurch fallen auch die Schwierigkeiten, die der Fabrikation von den leicht entzündlichen Körpern (Nitrozellulose, Äther, Alkohol) bereitet werden, fort.

Das Viskoseverfahren verwertet das von den Engländern Croß, Bevan und Beadle gefundene Verhalten der Natronzellulose (Merzerisation der Baumwolle durch hochgradige Natronlauge) in Schwefelkohlenstoff. In letzterem quillt die Natronzellulose zunächst stark auf und löst sich dann zu einer dicklichen Flüssigkeit, dem Viskoid, die durch Spinndüsen in eine Erstarrungsflüssigkeit (warme Lösung von Chlorammonium) gespritzt wird und in dieser einen feinen Faden, die Viskose, bildet.

Läßt man auf die Zellulose in Gegenwart von konzentrierter Schwefelsäure konzentrierte Essigsäure warm einwirken, so entsteht die Azetylzellulose (Zelluloseazetat); dieses Fabrikat ist zwar ziemlich teuer, besitzt aber größere Festigkeit als die anderen und ist auch widerstandsfähiger gegen die Einflüsse der Feuchtigkeit.

Die sogenannte Gelatineseide oder Vanduraseide entsteht durch die chemischen Einflüsse von Alaun, Kaliumbichromat und anderen Chemikalien auf Leim, der hierdurch wasserunlöslich wird. Auch Albumine und Kasein werden hierfür verwendet. Die Benutzung der Zellulose ist in diesem Falle also umgangen.

Das in den Spinnbeuteln der Seidenraupe enthaltene Spinnsekret kann nach Beendigung der Entwicklung der Raupe durch Zerquetschen der letzteren gewonnen und nach Absonderung von den anderen tierischen Substanzen durch Spinndüsen zu Fäden verarbeitet werden. In China ist dies Verfahren seit langem bekannt (z. B. für dicke Angelschnüre); es wurde von dem Engländer Millar für die Kunstseidenerzeugung

angewendet, ist aber eigentlich nur eine mechanische Verarbeitung des von der Raupe schon fertig produzierten Spinnstoffes.

Die künstlichen Seiden gewinnen mehr und mehr an Bedeutung. In Deutschland ist der Aufschwung dieser Industrie ein sehr beachtenswerter gewesen. Kunstseide aus Nitrozellulose wird gegenwärtig in den Vereinigten Kunstseidenfabriken in Frankfurt a. M., Glanzstoff aus Kupferoxydammoniakzellulose in der Vereinigten Glanzstofffabrik in Elberfeld hergestellt, während die Viskosefabrikation in Sydows-Aue bei Stettin fabriziert wird. Die Verwendung dieser künstlichen Materialien ist jedoch noch auf Schußgarn beschränkt, da sie für Kette zuwenig Festigkeit besitzen. Auch fallen die ganz aus Kunstseide hergestellten Gewebe ziemlich steif aus. Für Besatzlitzen und Effektstoffe ist die Kunstseide heute schon unersetzlich. Von gesponnener natürlicher Seide läßt sich Kunstseide unschwer unterscheiden, da sie ein homogenes Gebilde ist. Gegenüber gehaspelter Seide ist die Unterscheidung schwieriger, mit dem Mikroskop aber auch rasch zu bewerkstelligen. Da sich Naturseide in Kalilauge löst, Kunstseide aber in ihr nur aufquillt, ist die Feststellung auf chemischem Wege leicht durchführbar.

Das Preisverhältnis zwischen Naturseide und Kunstseide ist etwa 3 : 1, d. h. die erste ist dreimal teurer als die zweite.

2. und 3. Künstliches Roßhaar entsteht aus der Vereinigung mehrerer Kunstseidenfäden. Auch das künstliche Stroh ist in ähnlicher Weise gebildet.

B) TIERISCHER ABSTAMMUNG. 1. und 2. Hierher gehören die des Zusammenhangs wegen schon oben unter Kunstseide aufgeführten künstlichen Erzeugnisse aus Gelatine (Gelatine- oder Vanduraseide) und Kasein.

C) MINERALISCHER ABSTAMMUNG. 1. Metallfäden. Hier sind an erster Stelle die feinen Drähte zu erwähnen, die aus den edlen Metallen, Gold und Silber, gewonnen werden. Sie werden in verschiedenen Dicken, bis 0,02 mm herab, hergestellt. Die echten Silberdrähte bestehen aus reinem Silber, die echten Golddrähte aus Silber vergoldet. Die Gewinnung erfolgt durch Ziehen aus vorgewalzten dünnen Stangen. Die unechten edlen Metallfäden werden aus Kupfer mit Silber- oder Goldüberzug hergestellt (leonische Gespinste).

Cyprische Goldfäden, wie sie früher für goldgewirkte Gewebe Verwendung fanden, verstand man, da die Kenntnis des Verfahrens verloren gegangen war, lange Zeit nicht mehr zu erzeugen. Erst neuerdings wurde das Verfahren wieder ermittelt. Es besteht in der Umspinnung eines seidenen oder leinenen Herzfadens mit einem feinen vergoldeten Darmhäutchen.

Auch werden feine bändchenförmige Metallfäden (sogenannte Lahn) mit Fasergespinsten zusammengedreht (Seide oder Wolle). Auf diesem Wege entstehen die Brillantgarne.

Alle edlen Metallgespinste bilden ein wertvolles Effektmittel für die Herstellung von kostbaren Prachtgeweben, wie Gobelins, Wandvorhangstoffen und Teppichen, Brokaten, Gold- und Silbertressen usw.

Unedle Metallfäden entstehen durch die Verfeinerung weichen Messing-, Kupfer- und Eisendrahtes. Sie finden vielfache Verwendung für Siebzwecke, werden also verwebt wie andere Gespinste. In der Fabrikation von Metallsieben für die Papiermaschinen verwendet man mit Rücksicht auf die besondere Beanspruchung des Materials sehr viel Phosphorbronzedraht.

2. Glasfäden. Das Glas läßt sich durch Anwendung einer mäßigen Erwärmung so weit erweichen, daß es in sehr feine und gleichmäßige Fäden von schönem Glanze ausziehbar wird. Für die Textilindustrie kommen diese Fäden selten in Betracht.

Anfang 1912 wird als zweiter Band des vorliegenden Werkes erscheinen:

DIE VERARBEITUNG DER ROHSTOFFE.

Die Kohle und ihre Abkömmlinge. Von Ed. Donath und G. Ulrich, Professoren an der k. k. Technischen Hochschule Brünn.

Die Formgebung des Stahls und schmiedbaren Eisens. Von Professor Dr.-Ing. G. Stauber, Berlin.

Die Verarbeitung der Textilfasern. Von Direktor Professor Otto Johannsen, Reutlingen.

Die chemische Großindustrie. Von Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. Otto N. Witt, Charlottenburg.

Mit zahlreichen Abbildungen.

Später wird folgen als dritter Band

DIE GEWINNUNG DES TECHNISCHEN KRAFTBEDARFS UND DER ELEKTRISCHEN ENERGIE.

Die Kraftmaschine. — Kolbendampfmaschinen und Gasmaschinen. — Wasserkraft und Windkraft als Quellen technischer Energie. — Das Verhältnis der verschiedenen Naturkräfte zu einander. — Die Formen der modernen Elektromotoren und Elektrogeneratoren. — Die Verteilung der elektrischen Energie. — Die elektrochemische Industrie.

Reich illustriert.

Der das Werk abschließende vierte Band wird enthalten:

DAS VERKEHRSWESEN.

Lokomotiven. — Die Technik des Schiffbaus. — Das Automobil. — Das Motorluftschiff und die Flugmaschine. — Post und Telegraphie.

Graphische Technik. — Die Technik in der wissenschaftlichen Forschung. — Die technische und wirtschaftliche Ausgestaltung der Großfabrikation.

